



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Delrapport B for KONMAT 2

*forsøg med jernbetonbjælker*

Hansen, Lars Pilegaard

*Publication date:*  
1997

*Document Version*  
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Hansen, L. P. (red.) (1997). *Delrapport B for KONMAT 2: forsøg med jernbetonbjælker*. Aalborg Universitet. R / Inst. for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter

### General rights

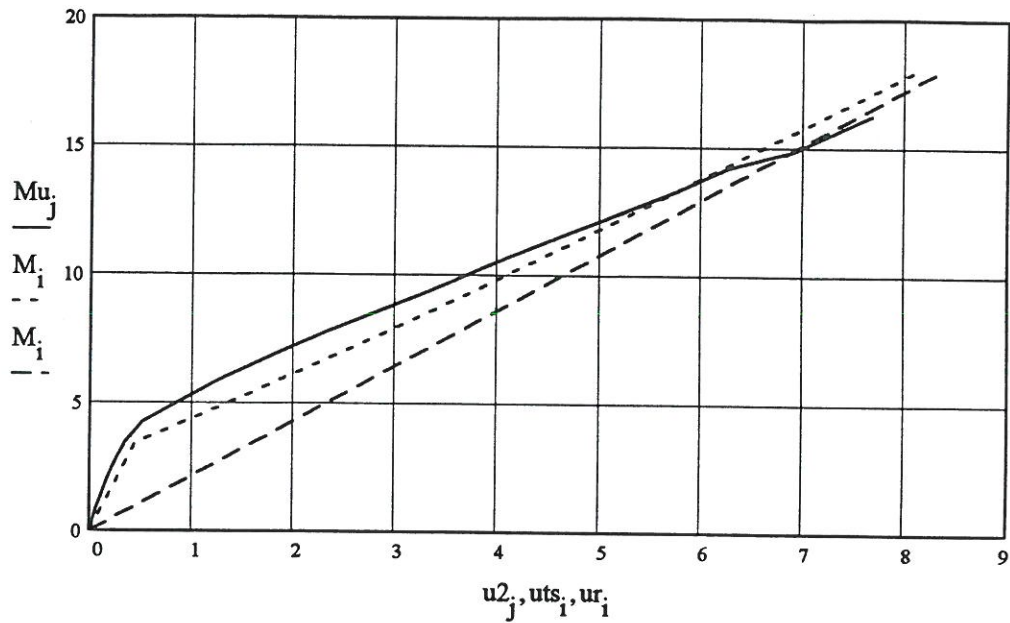
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

## Nedbøjningsarbejdslinier



Nedbøjning i mm og moment i kNm

SIGNATURER :

—— målt nedbøjning  
 - - - - CEB's formel  
 - · - · revnet tværsnit

# DELRAPPORT B FOR KONMAT 2

## FORSØG MED JERNBETONBJÆLKER

# Indholdsfortegnelse

1.	FORMÅL . . . . .	2
2.	OMFANG . . . . .	
2.1	Generelt . . . . .	2
2.2	Forsøgsemner . . . . .	2
2.3	Udførelse af forsøg . . . . .	3
2.4	Rapport . . . . .	4

Bilag 1 :	Skitse af forsøgsopstilling
Bilag 2 :	Foto af forsøgsopstilling
Bilag 3 :	Skitse af bjælke B1
Bilag 4 :	Skitse af bjælke B2
Bilag 5 :	Skitse af bjælke B3
Bilag 6 :	Teoretisk beregning af bjælker
Bilag 7 :	Del af forsøgsrapport
Bilag 8 :	Demonstration af armerede betonpladers virkemåde
Bilag 9 :	Armerede betonbjælkers virkemåde - Aalborg Universitet

## 1. FORMÅL

Ideen med de beskrevne demonstrationsforsøg er, at de skal supplere den teoretiske undervisning, således at der opnås en bedre forståelse af en armeret betonbjælkes virkemåde. De ved forsøgene målte størrelser skal altid sammenlignes med de tilsvarende teoretiske størrelser.

## 2. OMFANG

### 2.1 Generelt

I hovedtræk omfatter forsøgene følgende :

1. Proportionering af betonblanding på basis af en ønsket middelstyrke og bearbejdighed.
2. Blanding af beton samt udstøbning af forsøgsemner.
3. Udførelse af forsøg
4. Teoretisk beregning
5. Rapportering

### 2.2 Forsøgsemner

Der udstøbes følgende emner :

100\*200mm eller 150\*300mm cylindre - antal 15 stk.

Armerede bjælker - antal 3 stk.

I forbindelse med udstøbningen foretages bestemmelse af vådrumvægt, luftindhold, samt sætmål eller vebetal.

For den nærmere udførelse henvises til DS 423.11, 423.12, 423.13, 423.15, 423.16, 423.20, 423.21

Bjælkerne udføres i mål og med en armering som vist på bilag 3,4 og 5. Bjælkerne afformes når de har opnået tilstrækkelig styrke og holdes tildækkede med plastfolie indtil de skal prøves.

Armeringens flyde- og brudspænding bestemmes ved udførelse af trækforsøg, idet der



prøves 3 emner af hver dimension, hvorefter gennemsnitsværdien anvendes ved den teoretiske beregning.

Såfremt sådanne forsøg ikke udføres, kan der ved den teoretiske beregning anvendes nedenstående erfaringsværdier for flyde- og brudspænding for kamstål :

d = 16 mm	$f_{ym} = 620 \text{ MPa}$	$f_{um} = 810 \text{ MPa}$
d = 12 mm	$f_{ym} = 620 \text{ MPa}$	$f_{um} = 810 \text{ MPa}$
d = 10 mm	$f_{ym} = 600 \text{ MPa}$	$f_{um} = 700 \text{ MPa}$
d = 8 mm	$f_{ym} = 600 \text{ MPa}$	$f_{um} = 700 \text{ MPa}$
d = 6 mm	$f_{ym} = 600 \text{ MPa}$	$f_{um} = 700 \text{ MPa}$

## 2.3 Udførelse af forsøg

### CYLINDRE :

Cylindrene inddeles i grupper à 3 og der udføres følgende forsøg :

Trykstyrke	alder ca. 3 M <sub>20</sub> døgn
-	- - 7 -
	- - 28 -
Spaltetrækstyrke	- - 28 -
E-modul	- - 28 -

Når spaltetrækstyrken er bestemt omregnes denne til en ren trækstyrke.

Forsøgene udføres i overensstemmelse med DS 423.23, 423.24, 423.25

Inden prøvningen foretages en opmåling af cylinderens dimensioner og rumvægten bestemmes.

### BJÆLKER :

Armeringen er afpasset således at der opstår bøjningsbrud i B1 og B2 - B1 er normaltarmeret og B2 er overarmeret - medens der i B3 opstår forskydningsbrud.

Udformningen af bjælkerne fremgår af bilag 3, 4 og 5.

Det teoretiske grundlag for beregningen af bjælkerne fremgår af appendix 1.

Indledningsvis foretages en kontrolmåling af bjælketværsnittet på midten og ved enderne.

Forsøgsopstillingen er vist på bilag 1, hvoraf det fremgår at bjælken er simpelt understøttet med en spændvidde på 1.80m og udover egenvægten påvirket af to lige store enkeltkræfter P placeret symmetrisk omkring bjælkens midte.

Foto af forsøgsopstillingen er vist på bilag 2.

Under forsøgets udførelse skal der måles sammenhørende værdier af følgende størrelser :

1. Kraften 2P
2. Den lodrette flytning af punkterne 1,2 og 3
3. Den vandrette sammentrykning på strækningen 4 ved bjælkens overside
4. Den vandrette forlængelse på strækningen 5 ved bjælkens underside

Inden forsøget udføres skal beregnes bjælkernes revnelast, bøjningsflydelast og forskydningsbæreevne.

Inden lasten påføres foretages en nulaflæsning af samtlige måleinstrumenter. For samtlige bjælker gælder at lasten øges med ca. 2 kN pr. lasttrin og der foretages aflæsninger for hvert lasttrin.

Når deformationerne er blevet så store, at der er fare for ødelæggelse af måleure og transducere, afmonteres disse.

## 2.4 Rapport

Hvert hold udarbejder en rapport der mindst indeholder :

1. Kortfattet forsøgsbeskrivelse.
2. Teoretisk beregnede resultater - herunder betonsammensætning.
3. Måleresultater med deraf afledte størrelser.
4. Vurdering af forsøgsresultater.

## BETONSAMMENSÆTNING :

Der redegøres for betonenrecepten og for hvordan man er nået frem til den. Endvidere anføres luftindhold sætmål og vådrumvægt.

## CYLINDRE :

På grundlag af de udførte forsøg beregnes for hver gruppe af cylindre med tilhørende modenhed de fundne middelværdier af trykstyrke, spaltetrækstyrke, bøjningstrækstyrke og E-modul og rumvægt.

Disse værdier anføres sammen med de tilsvarende teoretiske værdier i skemaform.

## BJÆLKER :

På grundlag af de udførte målinger beregnes krumningen på strækningen mellem de to enkeltkræfter.

Krumningen beregnes på grundlag af nedbøjningerne i punkterne 1,2 og 3 ved hjælp af

nedenstående udtryk :

$$\kappa = \frac{2u_2 - (u_1 + u_3)}{b^2 \sqrt{1 - \frac{(u_1 - u_3)^2}{(2b)^2}}}$$

hvor  $u'_{\text{erne}}$  er de lodrette flytninger og  $2b$  er afstanden mellem de to enkeltkræfter.

Som kontrol beregnes krumningen også på basis af de vandrette bevægelser af bjælkens over- og underside - punkterne 4 og 5.

Der optegnes kurver, der viser sammenhæng mellem moment og krumning og mellem momentet og nedbøjningen midt på bjælken (punkt 2).

Både de målte og de teoretisk beregnede kurver optegnes.

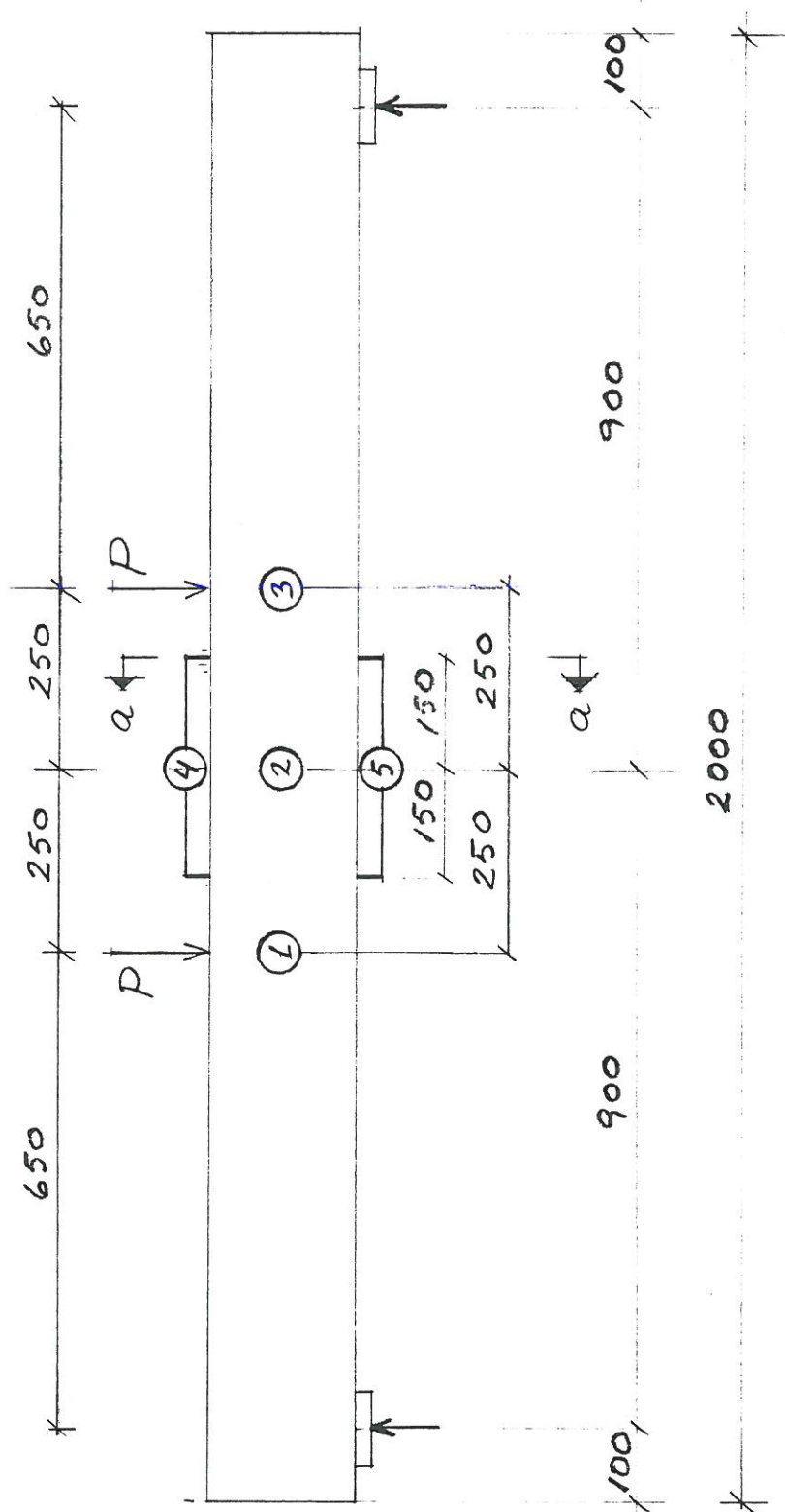
Den teoretiske beregning af krumning og nedbøjning foretages både med og uden hensyntagen til "tension stiffening".

Iøvrigt henvises til appendix 2, hvor der ved et eksempel er vist, hvordan de teoretiske beregninger til et bjælkeforsøg ønskes udført, samt hvordan de teoretiske resultater og forsøgsresultater fra forsøget ønskes præsenteret.

## VURDERINGER :

Vurderingen af forsøgsresultaterne skal indeholde en sammenligning mellem målte og tilsvarende teoretisk beregnede værdier og kommentarer til afvigelser.

Specielt skal sammenlignes de observerede værdier af revnemoment, flydemoment og forskydningsbrudlast med de tilsvarende teoretisk beregnede værdier.

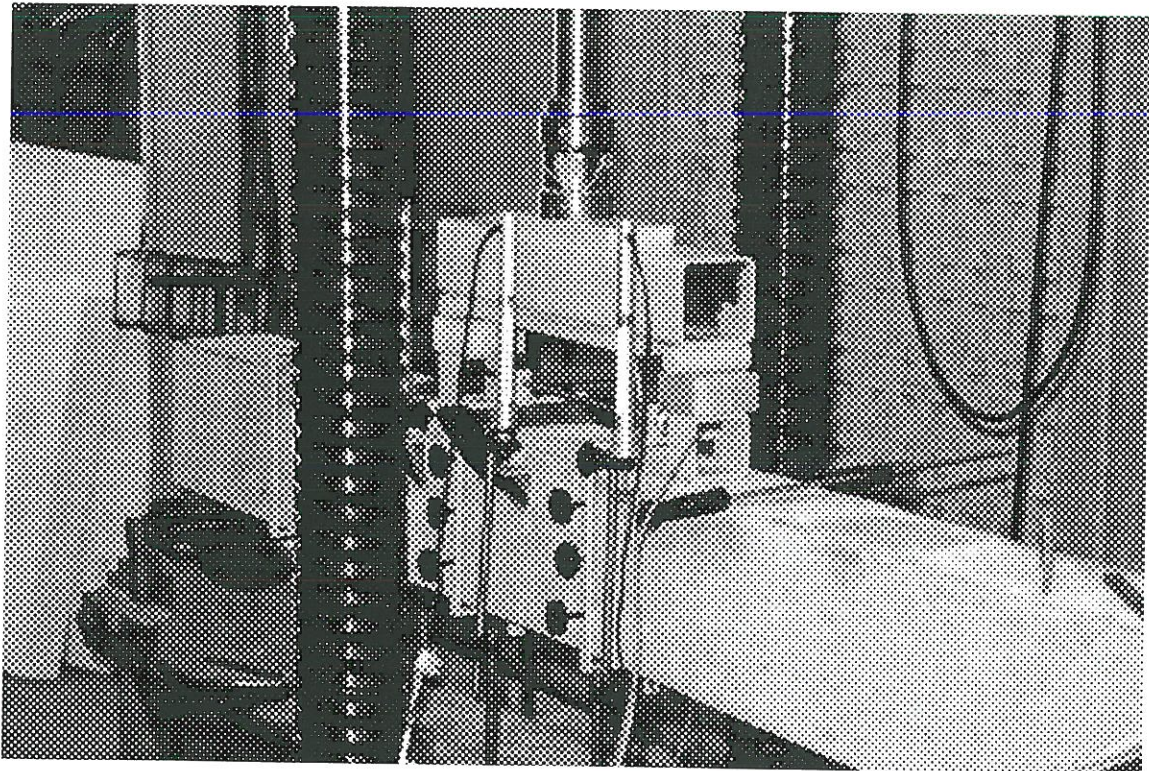
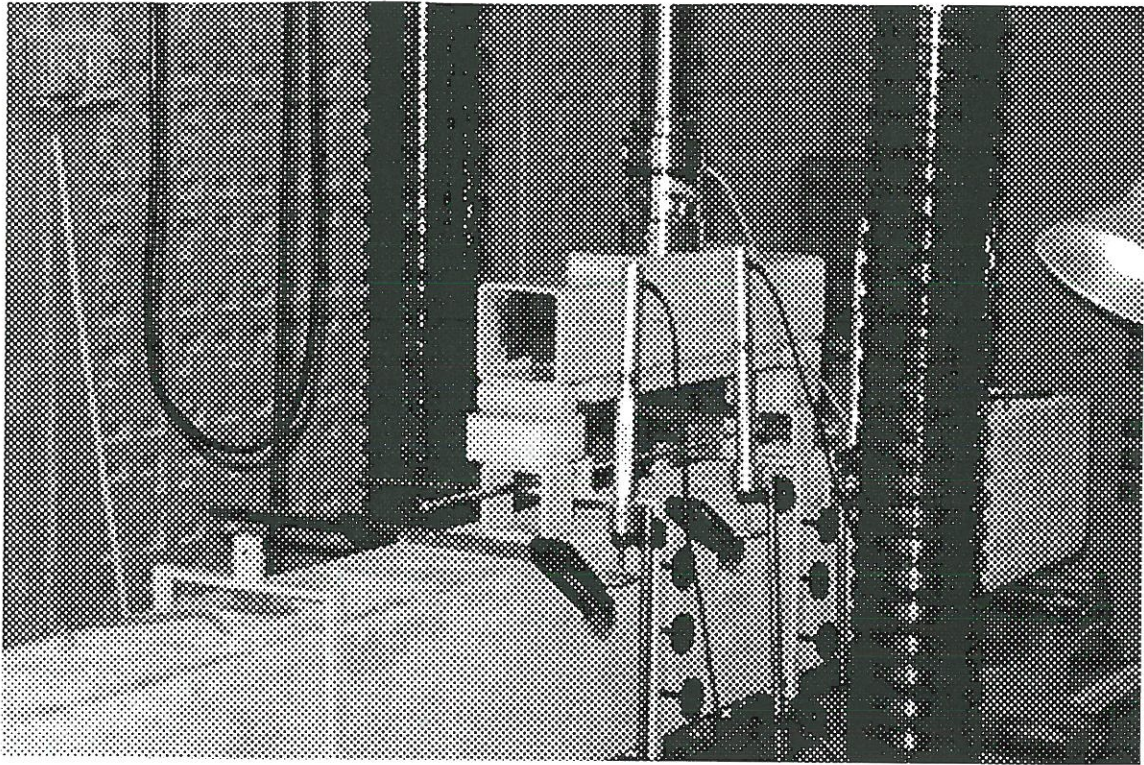


Snit a-a

Opstalt 1:10  
mål i mm

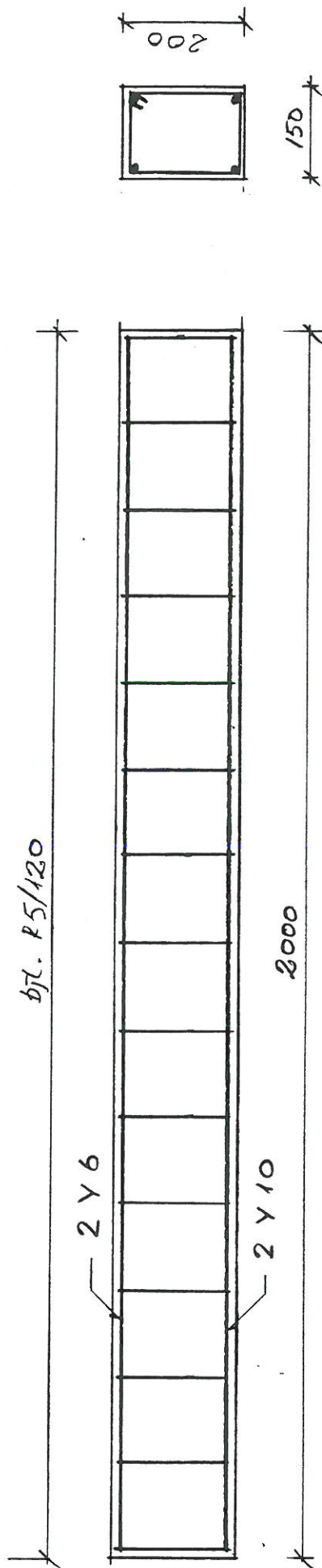
Bilag 1





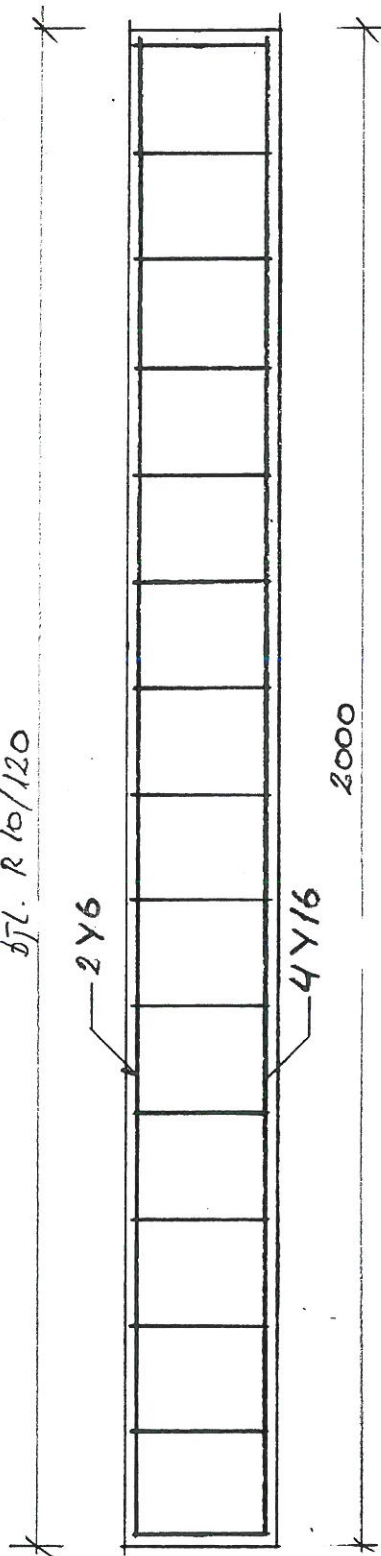
Bilog 2





B1 1:10  
mål i mm

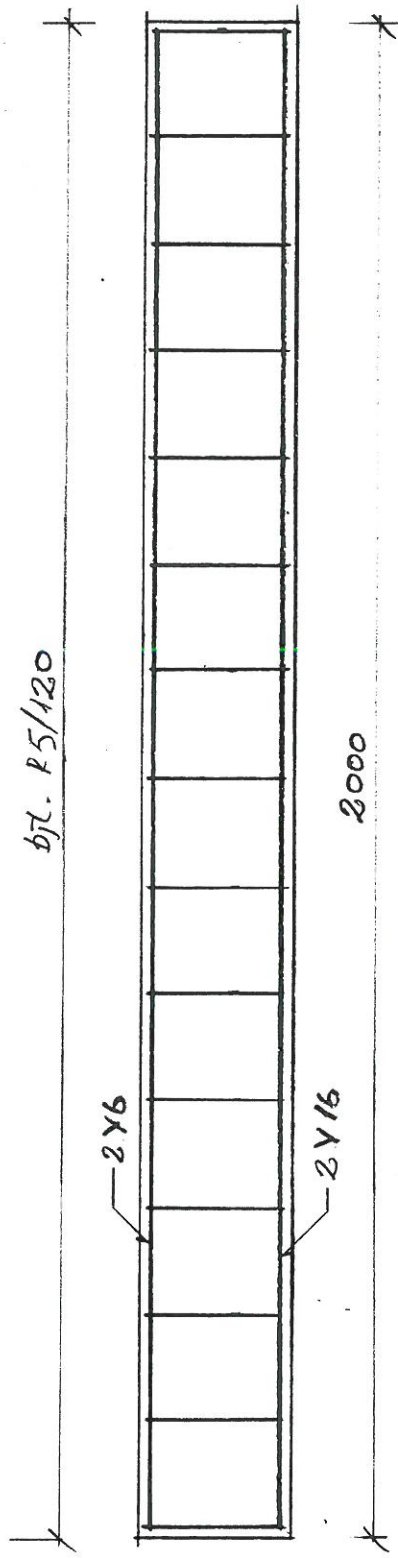
bjl. R 10/120



B2 1:10

mål i mm

bj. P 5/120

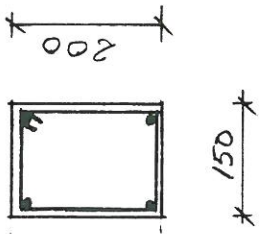


2000

2x6

2x6

B3 1:10  
mål i mm



150

200



## **BILAG 6      Teoretisk beregning af bjælker**

### **Indholdsfortegnelse**

1. Bjælke B1 (normaltarmeret) . . . . .	1
2. Bjælke B2 (overarmeret) . . . . .	3
3. Bjælke B3 (forskydningsbrud) . . . . .	4

## Teoretisk beregning af bjælker

Beregningerne opdeles i en styrke- og en deformationsberegning  
Betonens trykstyrke  $f_c$  er forudsat = 30 MPa

### Bjælke B1

Styrkeberegning :

Bjælken er normaltarmet og der opstår bøjningsbrud.

$$\varphi = \frac{A_s}{b \cdot h_{ef}} ; \quad \varphi = \frac{157}{157 \cdot 179} \cdot 100\% = 0.58\%$$

Bestemmelse af brudmoment  $M_f$  og brudkraft  $P_f$  :

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_y}{b \cdot h_e \cdot f_c} ; \quad \omega = \frac{157 \cdot 700}{150 \cdot 179 \cdot 30} = 0.136$$

$$\mu = \omega \cdot (1 - 0.5 \cdot \omega) ; \quad \mu = 0.136 \cdot (1 - 0.5 \cdot 0.136) = 0.1267$$

$$M_f = \mu \cdot b \cdot h_e^2 \cdot f_c ; \quad M_f = 0.1267 \cdot 150 \cdot 179^2 \cdot f_c \cdot 10^{-6} \text{ kNm} = 18.28 \text{ kNm}$$

$$M_f = P_f \cdot 0.650 \text{ m} = 18.28 \text{ kNm} \Rightarrow P_f = 28.12 \text{ kN}$$

Bestemmelse af revnemoment  $M_{rev}$  og revnekraft  $P_{rev}$  :

Armeringen ignoreres idet den er af lille betydning og revnemomentet er herefter :

$$M_{rev} = 2 \cdot f_{ct} \cdot \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \text{ hvor } f_{ct} = \sqrt{0.1 \cdot f_c}$$

$$f_{ct} = \sqrt{0.1 \cdot 30} = 1.73 \text{ MPa}$$

$$M_{rev} = 2 \cdot 1.73 \cdot \frac{1}{6} \cdot 150 \cdot 200^2 \cdot 10^{-6} \text{ kNm} = 3.46 \text{ kNm} ;$$

$$M_{rev} = P_{rev} \cdot 0.650 \text{ m} = 3.46 \text{ kNm} \Rightarrow P_{rev} = 5.32 \text{ kN}$$

### Deformationsberegning :

Denne beregning omfatter en beregning af krumningen samt nedbøjningen på midten af bjælken.

Det antages at betonen er lineærelastisk og E-modulet bestemmes af følgende formel :

$$E_c = 35700 \cdot \frac{f_c}{f_c + 13} \text{ MPa} ; E_c = 35700 \cdot \frac{30}{30 + 13} = 24900 \sim 25000 \text{ MPa}$$

Ved en simpel beregning af nedbøjningen vil man anvende følgende udtryk fra betonnormen :

$$u = 0.1 \cdot \kappa \cdot l^2$$

hvor  $\kappa$  bestemmes på basis af momentet midt på bjælken og tværsnittet regnes at være revnet - dvs. krumningen findes af :

$$\kappa = \frac{M}{(EI)_{rev}} \quad \text{hvor } I \text{ bestemmes af :}$$

$$I = \varphi_b \cdot \beta \cdot b \cdot h_{ef}^3$$

$$\beta = \alpha \cdot \varphi \cdot \left( \sqrt{\frac{2}{\alpha \cdot \varphi} + 1} - 1 \right)$$

$$\varphi = \frac{A_s}{b \cdot h_{ef}}, \quad \alpha = \frac{E_s}{E_c}, \quad \varphi_b = \frac{1}{6} \cdot \beta \cdot (3 - \beta)$$

Hvis man vil tage hensyn til, at betonen selvom den er revnet bidrager til bjælkens stivhed (tension stiffening) kan dette gøres ved, at benytte en anden (og mere nøjagtig) måde at beregne krumningen på og anvende denne ved nedbøjningsberegningen.

CEB anbefaler følgende formel til beregning af krumningen :

$$\kappa = (1 - \zeta) \cdot \kappa_1 + \zeta \cdot \kappa_2 \quad \text{hvor}$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{M_r}{M}\right)^2$$

$\kappa_1$  er krumningen beregnet som om tværsnittet er urevnet, og  $\kappa_2$  er krumningen beregnet som om tværsnittet er fuldstændig revnet - altså som anført ovenfor.

$\beta_1 = 1.0$  ved ribbestål og  $0.5$  ved glat stål.

$\beta_2 = 1.0$  ved første gangs belastning og  $0.5$  ved langvarige belastninger eller ved mange belastningsgentagelser

$M_r$  er revnemomentet og  $M$  er det aktuelle moment. For  $M < M_r$  er  $\zeta = 0$ .

Når krumningen er beregnet kan nedbøjningen beregnes ved f. ex. "konjugeret bjælke-metoden"

## Bjælke B2

### Styrkeberegning

Bjælken er overarmeret og der opstår bøjningsbrud.

Nulliniens placering  $y_0$  findes ved at sætte trykresultanten lig trækresultanten :

$$0.8 \cdot f_c \cdot b \cdot y_0^2 - A_s \cdot E_s \cdot \epsilon_c \cdot (h_e - y_0) = 0$$

$$0.8 \cdot 30 \cdot 150 \cdot y_0^2 - 804 \cdot 210000 \cdot 0.0035 \cdot (172 - y_0) = 0 \Rightarrow y_0 = 104 \text{ mm}$$

Brudmomentet kan findes ved moment om armeringen :

$$M_f = f_c \cdot b \cdot 0.8 \cdot y_0 \cdot (h_e - 0.4 \cdot y_0)$$

$$M_f = 30 \cdot 150 \cdot 0.8 \cdot 104 \cdot (172 - 0.4 \cdot 104) \cdot 10^{-6} = 48.93 \text{ kNm} \Rightarrow P_f = \frac{48.93}{0.65} = 75.3 \text{ kN}$$

Bestemmelse af revnemoment  $M_{rev}$  og revnekraft  $P_{rev}$  :

Idet der med god tilnærmelse ses bort fra armeringen er disse størrelser de samme som ved bjælke B1

## Deformationsberegning :

Beregningerne udføres som beskrevet under **bjælke B1**

## Bjælke B3

### Styrkeberegning

Armeringen i denne bjælke er afpasset sådan at der opstår forskydningsbrud. I Danmark anvendes der i dag enten diagonaltrykmetoden som betonnormen anbefaler eller en empirisk metode beskrevet i et annekst til betonnormen. I det følgende vil den aktuelle bjælke blive behandlet efter begge metoder.

### DIAGONALTRYKMETODEN :

Hvis bøjlerne er afgørende for bæreevnen kan den maximale forskydningskraft  $V$  findes af udtrykket :

$$V = A_t \cdot f_{yb} \cdot \frac{h_i}{a_t} \cdot \cot \theta$$

Her er  $A_t$  bøjlearealet,  $f_{yb}$  bøjleens flydespænding,  $h_i$  den indre momentarm,  $a_t$  afstanden mellem bøjlerne og  $\theta$  hældningen af trykdiagonalen med vandret.

Hvis det skrå betontryk er afgørende er den maximale forskydningskraft :

$$V = \sigma_c \cdot b \cdot h_i \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta, \quad \sigma_c = v \cdot f_c; \quad v = 0.8$$

Den optimale bæreevne fås ved at sætte de to udtryk lig med hinanden og finde vinklen  $\theta$ . Den største tilladelige værdi af  $\theta$  svarer til en hældning af trykdiagonalen fra reaktionen i bjælkens underside til kraftens angrebepunkt i bjælkens overside - dvs -

$$\cot \theta = \frac{650}{200} = 3.25$$

Det viser sig at denne værdi af  $\theta$  bliver afgørende. Det bemærkes endvidere at betonnormen foreskriver en maximal værdi af  $\theta$  på 2,0 men dette er af hensyn til revnedannelse i anvendelsesstadiet hvilket der ikke tages hensyn til her.

Idet der anvendes 5mm bøjler med flydespænding 240 MPa er den maximale forskydningskraft herefter :

$$V = 39.2 \cdot 240 \cdot \frac{172}{120} \cdot 3.25 \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 43.8 \text{ kN}$$

### EMPIRISK METODE :

Ved denne metode forudsættes det, at betonen optager en forskydende kraft svarende til halvdelen af betonens trækstyrke og den resterende kraft skal optages af armering hvilket oftest vil sige lodrette bøjler.

Den samlede forskydende kraft  $H$  på forskydningsstrækningen  $l$  beregnes af :

$$H = \tau \cdot b \cdot l, \quad \text{hvor } \tau = \frac{V}{b \cdot h_i} \Rightarrow V = H \cdot \frac{h_i}{l}$$

Betonen optager :

$$H_{\text{beton}} = 0.5 \cdot 1.73 \cdot 150 \cdot 650 \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 84.33 \text{ kN}$$

Bøjlerne optager :

$$H_{\text{bøjler}} = 39.2 \cdot 240 \cdot \frac{650}{120} \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 50.96 \text{ kN}$$

Beton og armering optager i alt 135.29 kN hvilket svarer til en værdi af forskydningskraften på :

$$V = H \cdot \frac{h_i}{l} = 135.29 \cdot \frac{150}{650} = 31.2 \text{ kN}$$

Det ses, at den største bæreevne opnås efter diagonaltrykmetoden.

Bestemmelse af revnemoment  $M_{\text{rev}}$  og revnekraft  $P_{\text{rev}}$  :

Idet der med god tilnærmelse ses bort fra armeringen er disse størrelser de samme som ved bjælke B1

Deformationsberegning :

Beregningerne udføres som beskrevet under bjælke B1

## **BILAG 7      Del af forsøgsrapport for B1**

### **Indholdsfortegnelse**

1. Betonrecept . . . . .	1
2. Teoretisk styrkeberegning . . . . .	1
3. Teoretisk deformationsberegning . . . . .	2
4. Forsøgsresultater . . . . .	4
5. Bøjningsarbejdslinier . . . . .	8
6. Nedbøjningsarbejdslinier . . . . .	9
7. Vurdering af resultater . . . . .	11



## BILAG 7

### DEL AF FORSØGSRAPPORT

Denne del af forsøgsrapporten omfatter en teoretisk beregning af bjælken B1, som blev afprøvet i Esbjerg d. 17.2.1997, samt de resultater der blev opnået ved forsøget.

#### Betonrecept

Basiscement	312 kg/m <sup>3</sup>
Vand	198 -
Sand 0-4 mm	771 -
Søsten 4-16 mm	1084 -

Der er ikke anvendt tilsætningsstoffer.

Der er ikke foretaget trykstyrkeforsøg med cylindre, men det er laboratoriets erfaring, at en beton fremstillet efter ovennævnte recept vil have en middeltrykstyrke af størrelsen 30 MPa.

#### Teoretisk beregning af bjælke B1

Beregningerne opdeles i en styrke- og en deformationsberegning

##### Styrkeberegning :

Bjælken er normaltarmet og der opstår bøjningsbrud.

$$\varphi = \frac{A_s}{b \cdot h_{ef}} ; \quad \varphi = \frac{157}{157 \cdot 179} \cdot 100\% = 0.58\%$$

Bestemmelse af brudmoment  $M_f$  og brudkraft  $P_f$  :

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_y}{b \cdot h_e \cdot f_c} ; \quad \omega = \frac{157 \cdot 700}{150 \cdot 179 \cdot 30} = 0.136$$

$$\mu = \omega \cdot (1 - 0.5 \cdot \omega) ; \quad \mu = 0.136 \cdot (1 - 0.5 \cdot 0.136) = 0.1267$$



$$M_f = \mu \cdot b \cdot h^2 \cdot f_c ; M_f = 0.1267 \cdot 150 \cdot 179^2 \cdot f_c \cdot 10^{-6} \text{ kNm} = 18.28 \text{ kNm}$$

$$M_f = P_f \cdot 0.650 \text{ m} = 18.28 \text{ kNm} \Rightarrow P_f = 28.12 \text{ kN}$$

Bestemmelse af revnemoment  $M_{rev}$  og revnekraft  $P_{rev}$  :

Armeringen ignoreres idet den er af lille betydning og revnemomentet er herefter :

$$M_{rev} = 2 \cdot f_{ct} \cdot \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \text{ hvor } f_{ct} = \sqrt{0.1 \cdot f_c}$$

$$f_{ct} = \sqrt{0.1 \cdot 30} = 1.73 \text{ MPa}$$

$$M_{rev} = 2 \cdot 1.73 \cdot \frac{1}{6} \cdot 150 \cdot 200^2 \cdot 10^{-6} \text{ kNm} = 3.46 \text{ kNm} ;$$

$$M_{rev} = P_{rev} \cdot 0.650 \text{ m} = 3.46 \text{ kNm} \Rightarrow P_{rev} = 5.32 \text{ kN}$$

### Deformationsberegning :

Denne beregning omfatter en beregning af krumningen samt nedbøjningen på midten af bjælken.

Det antages at betonen er lineærelastisk og E-modulet bestemmes af følgende formel :

$$E_c = 35700 \cdot \frac{f_c}{f_c + 13} \text{ MPa} ; E_c = 35700 \cdot \frac{30}{30 + 13} = 24900 \sim 25000 \text{ MPa}$$

Nedbøjningen bestemmes ved en simpel beregning af følgende udtryk fra betonnormen :

$$u = 0.1 \cdot \kappa \cdot l^2$$

hvor  $\kappa$  bestemmes på basis af momentet midt på bjælken og tværsnittet regnes at være revnet - dvs. krumningen findes af :

$$\kappa = \frac{M}{(EI)_{rev}} \text{ hvor } I \text{ bestemmes af :}$$

$$I = \varphi_b \cdot \beta \cdot b \cdot h_{ef}^3$$

$$\beta = \alpha \cdot \varphi \cdot \left( \sqrt{\frac{2}{\alpha \cdot \varphi} + 1} - 1 \right)$$

$$\varphi = \frac{A_s}{b \cdot h_{ef}}, \quad \alpha = \frac{E_s}{E_c}, \quad \varphi_b = \frac{1}{6} \cdot \beta \cdot (3 - \beta)$$

Hvis man vil tage hensyn til, at betonen selvom den er revnet bidrager til bjælkens stivhed (tension stiffening) kan dette gøres ved, at benytte en anden (og mere nøjagtig) måde at beregne krumningen på og anvende denne ved nedbøjningsberegningen

På de følgende sider er for momentet varierende fra 0 til ca. 17.5 kNm beregnet krumning og nedbøjning både med og uden hensyntagen til tension stiffening.

Endvidere er beregnet og optegnet kurver for både teoretisk beregnede resultater og forsøgsresultater af krumning/nedbøjning mod moment.

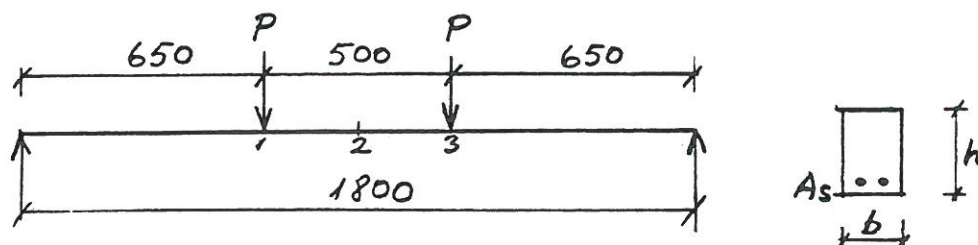
## Beregninger for bjælken B1

Enheder : Hvor ikke andet er nævnt er for længder anvendt mm og for kraft N- de øvrige enheder er afledt heraf.

Data for bjælkegeometri og materialer :

$$b := 150 \quad h := 200 \quad h_e := 179 \quad l := 1800 \quad A_s := 159$$

$$E_s := 206000 \quad E_c := 25000 \quad f_c := 30 \quad f_{ct} := 1.73 \quad f_y := 700$$



Krumning og nedbøjning for revnemomentet  $M_{rev}$  - urevnet tværsnit:

$$I_u := \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad I_u = 1 \cdot 10^8$$

$$M_{rev} := 2 \cdot f_{ct} \cdot \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \quad M_{rev} = 3.46 \cdot 10^6 \quad \kappa_{rev} := \frac{M_{rev}}{E_c \cdot I_u} \quad \kappa_{rev} = 1.384 \cdot 10^{-6}$$

$$u_{rev} := \frac{1}{10} \cdot \kappa_{rev} \cdot l^2 \quad u_{rev} = 0.448 \quad \text{dette er nedbøjningen i mm for revnemomentet idet tværsnittet regnes urevnet}$$

Tværsnitsdata for revnet tværsnit :

$$\phi := \frac{A_s}{b \cdot h_e} \quad \alpha := \frac{E_s}{E_c} \quad \beta := \alpha \cdot \phi \cdot \left( \sqrt{\frac{2}{\alpha \cdot \phi} + 1} - 1 \right) \quad \phi b := \frac{1}{6} \cdot \beta \cdot (3 - \beta)$$

$$\phi = 5.922 \cdot 10^{-3} \quad \alpha = 8.24 \quad \beta = 0.267 \quad \phi b = 0.122$$

$$y_0 := \beta \cdot h_e \quad y_0 = 47.862$$

$$I_r := \phi b \cdot \beta \cdot b \cdot h_e^3 \quad I_r = 2.801 \cdot 10^7$$

Beregning af bøjningsarbejdslinien under hensyn til tension stiffening :

$$M_0 := 0 \quad M_1 := M_{rev} \cdot 10^{-6}$$

værdier for urevnet tværsnit

$$\kappa_0 := 0 \quad \kappa_1 := \kappa_{rev}$$

$$\kappa_{r_0} := 0 \quad \kappa_{r_1} := \frac{M_{rev}}{E_c \cdot I_r}$$

værdier for revnet tværsnit

$$i := 2..30$$

$$M_i := M_{rev} \cdot 10^{-6} + (i - 1) \cdot 0.5 \quad \text{værdier af momentet for hvilke krumningen beregnes}$$

$$\kappa_i := \left[ \left[ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{M_{rev}}{M_i \cdot 10^6} \right)^2 \right] \right] \cdot \frac{M_i \cdot 10^6}{E_c \cdot I_u} + \left[ \left[ 1 - \left( \frac{M_{rev}}{M_i \cdot 10^6} \right)^2 \right] \cdot \frac{M_i \cdot 10^6}{E_c \cdot I_r} \right] \right] \quad \begin{array}{l} \text{krumning som} \\ \text{funktion af mo-} \\ \text{ment ifølge CEB's} \\ \text{formel} \end{array}$$

bøjningsarbejdslinien uden hensyn til tension stiffening :

$$\kappa_{r_i} := \frac{M_i \cdot 10^6}{E_c \cdot I_r} \quad \text{værdier af krumning for fuldt revnet tværsnit}$$

## Forsøgsresultater :

j := 0..19

kraft 2*P kN	ur1 mm	ur2 mm	ur3 mm
0	42.36	39.19	43.09
1.5	42.32	39.15	43.06
2.5	42.3	39.13	43.04
4	42.26	39.09	43
6	42.21	39.03	42.95
8	42.14	38.96	42.88
10.8	42.03	38.84	42.76
13.1	41.89	38.68	42.61
15.4	41.6	38.34	42.33
18	41.24	37.95	41.99
21.3	40.7	37.36	41.43
24.3	40.17	36.8	40.91
28.4	39.4	35.96	40.15
30.1	39.1	35.63	39.83
32.2	38.72	35.23	39.49
35.1	38.19	34.65	38.95
40.9	37.06	33.43	37.83
43.6	36.6	32.94	37.39
45.7	36.01	32.3	36.8
50.1	35.28	31.52	36.06
	34.54	30.71	35.36

ur4 mm	ur5 mm
0.158	4.859
0.165	4.855
0.166	4.852
0.171	4.847
0.178	4.840
0.187	4.831
0.200	4.815
0.220	4.781
0.265	4.690
0.300	4.611
ur4 := 0.352	ur5 := 4.497
0.462	4.372
0.483	4.202
0.518	4.144
0.537	4.071
0.582	3.965
0.672	3.766
0.708	3.690
0.752	3.591
0.804	3.464
0.858	3.344

$$u1_j := ur1_0 - ur1_j \quad u2_j := ur2_0 - ur2_j \quad u3_j := ur3_0 - ur3_j$$

$$\kappa_{u_j} := \frac{2 \cdot u2_j - (u1_j + u3_j)}{250^2 \cdot \sqrt{1 + \frac{(u1_j - u3_j)^2}{(2 \cdot 250)^2}}} \quad \text{krumning beregnet ud fra nedbøjning}$$

$$\varepsilon_{4j} := \frac{ur_{4j} - ur_{40}}{300} \quad \varepsilon_{5j} := \frac{ur_{50} - ur_{5j}}{300} \quad \text{målte tøjninger i over- og underside}$$

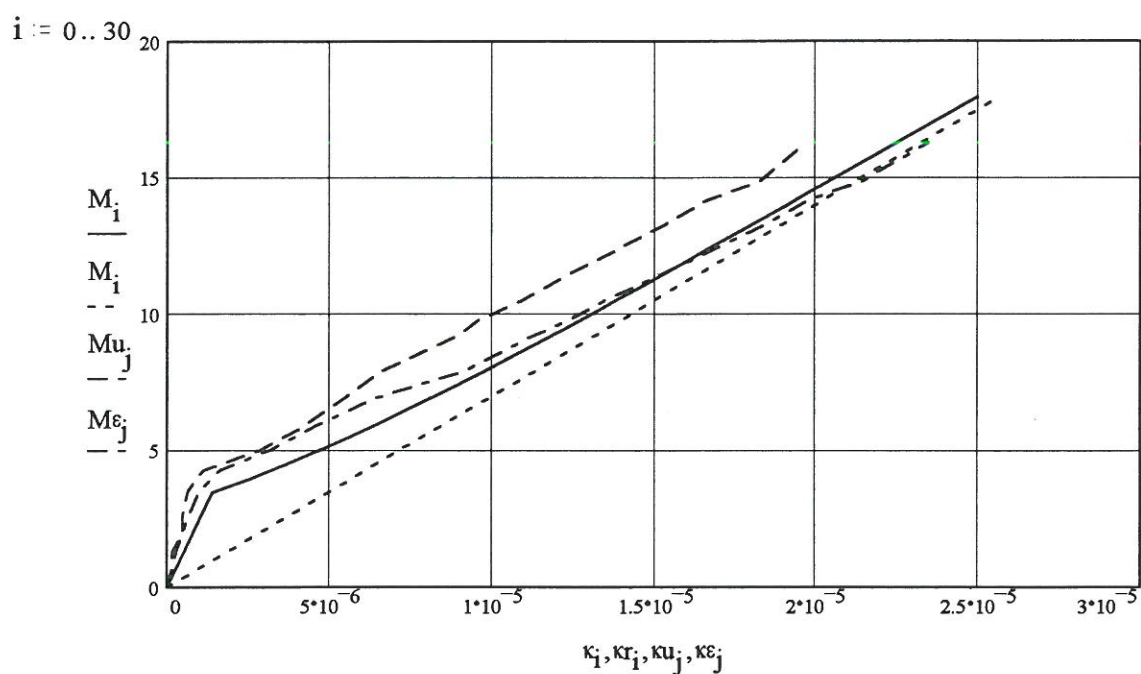
$$P_j := \frac{K_j}{2}$$

$$\kappa_{\varepsilon_j} := \frac{\varepsilon_{4j} + \varepsilon_{5j}}{290} \quad \text{krumning beregnet ud fra tøjninger}$$

$$Mu_j := P_j \cdot 0.65 \quad M_{\varepsilon_j} := P_j \cdot 0.65 \quad \text{moment i kNm for de anførte værdier af P}$$

$$j := 0..19 \quad i := 0..30$$

### Bøjningsarbejdslinier



krumning i /mm og moment i kNm

#### SIGNATURER :

- — — målt krumning på basis af nedbøjning
- - - - - tøjninger i os. og us.
- CEB's formel for krumning
- krumning beregnet ud fra revnet tværsnit



Teoretisk beregning af nedbøjningen midt på bjælken som funktion af momentet.

Beregningen er gennemført både med og uden hensyn til tension stiffening  
Der er anvendt 'konjugeret bjælke-metoden' :

$$ur_0 := 0 \quad ur_1 := \frac{1}{10} \cdot \frac{M_{rev} \cdot l^2}{Ec \cdot Ir} \quad ur_1 = 1.601 \quad \text{revnet tværsnit}$$

$$M_0 := 0 \quad M_1 := M_{rev} \cdot 10^{-6}$$

$$\kappa_0 := 0 \quad \kappa_1 := \kappa_{rev} \quad \kappa_1 = 1.384 \cdot 10^{-6}$$

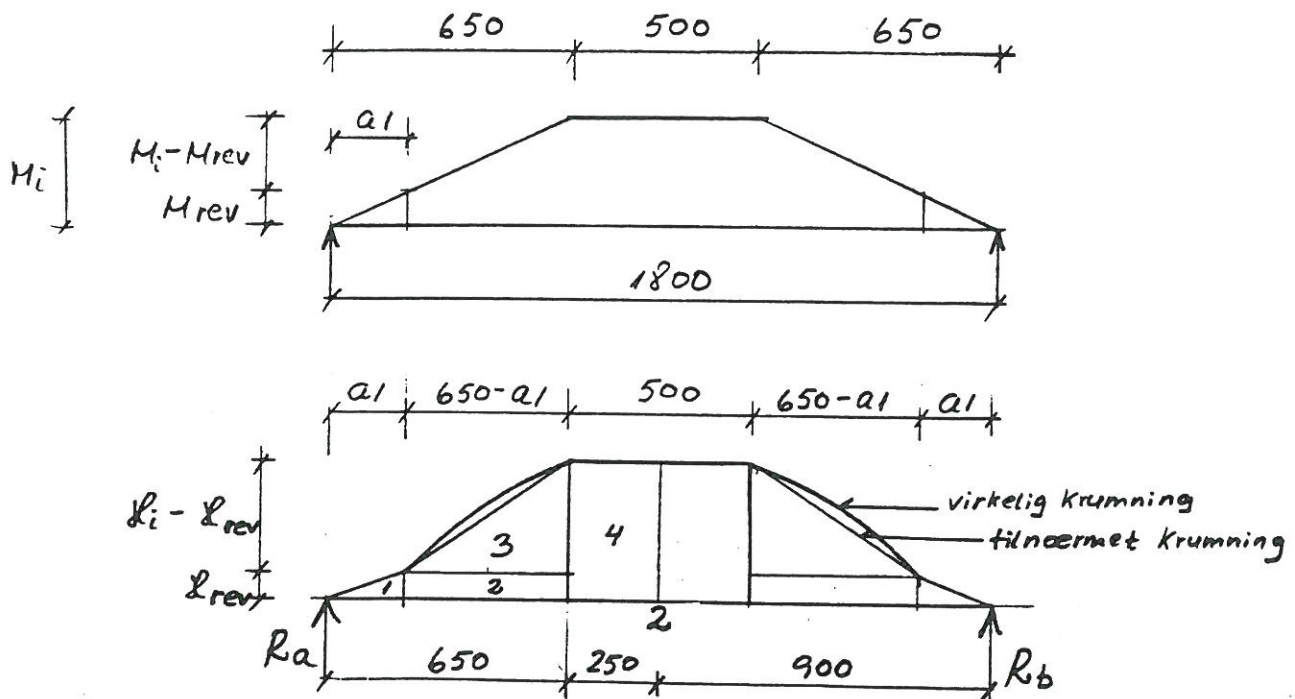
$$uts_0 := 0 \quad uts_1 := \frac{1}{10} \cdot \kappa_1 \cdot l^2 \quad uts_1 = 0.448 \quad \text{urevnet tværsnit}$$

$$i := 2..30$$

$$M_i := M_{rev} \cdot 10^{-6} + (i - 1) \cdot 0.5 \quad \text{værdier af momentet for hvilke krumningerne beregnes}$$

$$ur_i := \frac{1}{10} \cdot \left( \frac{M_i \cdot 10^6 \cdot l^2}{Ec \cdot Ir} \right) \quad \text{revnet tværsnit} \quad Ir = 2.801 \cdot 10^7$$

$$\kappa_i := \left[ \left[ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{M_{rev}}{M_i \cdot 10^6} \right)^2 \right] \right] \cdot \frac{M_i \cdot 10^6}{Ec \cdot I_u} + \left[ \left[ 1 - \left( \frac{M_{rev}}{M_i \cdot 10^6} \right)^2 \right] \cdot \frac{M_i \cdot 10^6}{Ec \cdot Ir} \right] \right] \quad \begin{array}{l} \text{krumning som} \\ \text{funktion af mo-} \\ \text{ment efter CEB's} \\ \text{formel} \end{array}$$





$$a1_i := 650 \cdot \frac{M_{rev}}{M_i \cdot 10^6}$$

$$Q1_i := 0.5 \cdot a1_i \cdot \kappa_{rev}$$

$$e1_i := 900 - \frac{2}{3} \cdot a1_i$$

$$Q2_i := (650 - a1_i) \cdot \kappa_{rev}$$

$$e2_i := 250 + 0.5 \cdot (650 - a1_i)$$

$$Q3_i := 0.5 \cdot (650 - a1_i) \cdot (\kappa_i - \kappa_{rev})$$

$$e3_i := 250 + \frac{1}{3} \cdot (650 - a1_i)$$

$$Q4_i := 250 \cdot \kappa_i$$

$$e4_i := \frac{1}{2} \cdot 250$$

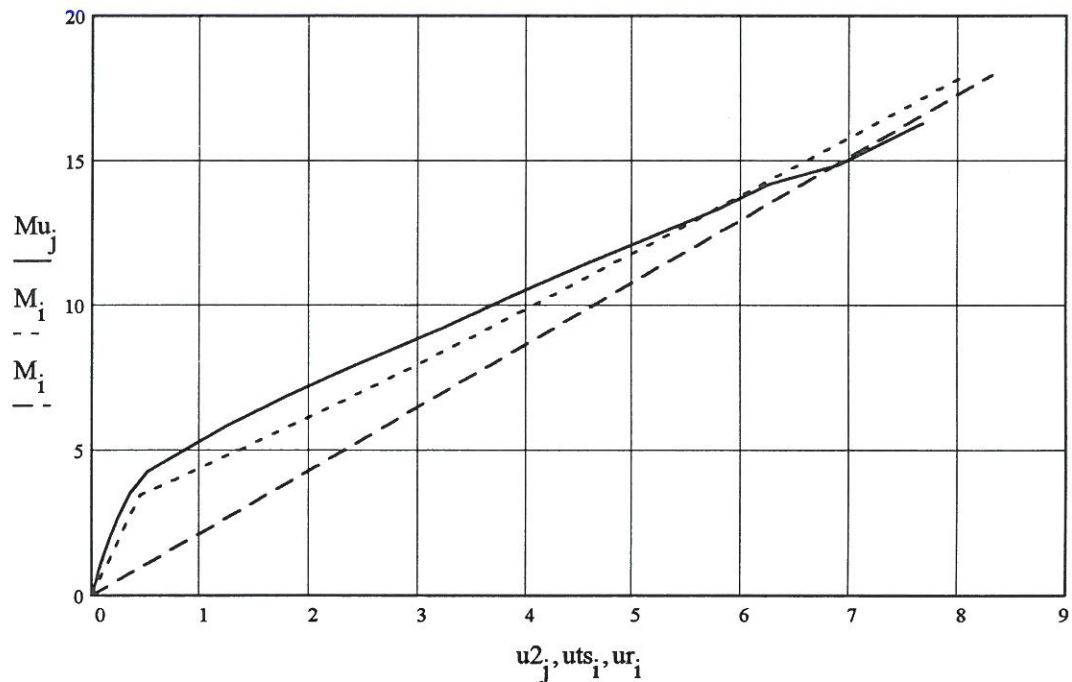
$$Ra_i := Q1_i + Q2_i + Q3_i + Q4_i$$

$$uts_i := Ra_i \cdot 900 - Q1_i \cdot e1_i - Q2_i \cdot e2_i - Q3_i \cdot e3_i - Q4_i \cdot e4_i$$

$$j := 0..19$$

$$i := 0..30$$

### Nedbøjningsarbejdslinier



Nedbøjning i mm og moment i kNm

SIGNATURER :

———— målt nedbøjning  
 ----- CEB's formel  
 - - - - - revnet tværsnit

De størrelser der sammenlignes er de teoretisk beregnede og de målte værdier af henholdsvis revnemoment, brudmoment samt nedbøjning midt på bjælken.

	Beregnet værdi	Målt værdi	Afvigelse i %
Revnemoment $M_{rev}$	3.47 kNm	ca. 4.0 kNm	15
Brudmoment $M_f$	18.28 -	16.5 -	10

De anførte afvigelser i % er i forhold til de teoretiske værdier.

Det bemærkes, at den målte værdi af revnemomentet er skønnet ud fra nedbøjningsarbejdslinien, idet det er forudsat at, denne får et 'kraftigt knæk' når revnemomentet nås.

Det er forudsat, at armeringen flyder ved en spænding på 700 MPa, men der er ikke foretaget nogen forsøgsmæssig bestemmelse af denne flydespænding. Ligeledes er der heller ikke foretaget nogen forsøgsmæssig bestemmelse af betonens brudstyrke. Dette kan muligvis forklare afvigelsen mellem det teoretiske og det målte brudmoment.

Iøvrigt må der siges, at være tilfredsstillende overensstemmelse mellem målte og teoretiske værdier.

Af kurverne for nedbøjningen midt på bjælken på foregående side fremgår det, at der ikke er en tilsvarende pæn overensstemmelse.

Den bedste overensstemmelse er opnået mellem de målte værdier og de på basis af CEB's anbefalinger beregnede værdier. De største afvigelser er af størrelsen 25-50%, idet de målte værdier er de mindste.

Endvidere ses, at forudsætningen om fuldt revnet tværsnit i området lige over revnemomentet kan give beregningsmæssige nedbøjninger der er op til ca. 3 gange så store som de virkelige. Dette er specielt interessant, fordi momentet i en jernbetonbjælke i anvendelsestilstanden ofte vil ligge i dette område.

Efterhånden som momentet vokser - og dermed revnedannelsen i bjælken - ses det, som det må forventes, at forudsætningen om revnet tværsnit passer bedre og bedre.

På den sidste del af kurven bliver de målte nedbøjninger større end de beregnede, og dette kan bl. a. forklares med, at Hooke's lov ved de store spændinger i betonen ikke længere er gældende.

## **Demonstration af armerede betonpladers virkemåde**

## 1. FORMÅL

Ideen med de beskrevne demonstrationsforsøg er, at de skal supplere den teoretiske undervisning, således at der opnås en bedre forståelse af en armeret betonplades virkemåde. De ved forsøgene målte størrelser skal altid sammenlignes med de tilsvarende teoretisk bestemte størrelser.

## 2. OMFANG

### 2.1 GENERELT

I hovedtræk omfatter forsøgene følgende :

1. Proportionering af betonblanding på basis af en ønsket middelstyrke og bearbejdelighed.
2. Blanding af beton samt udstøbning af forsøgsemner.
3. Udførelse af forsøg.
4. Teoretisk beregning.
5. Rapportering.

Det er ønskeligt, at der hvor det er muligt både udføres en visuel aflæsning af belastning, nedbøjning mm. samt anvendes computerbaseret dataopsamling af de samme forsøgsresultater.

### 2.2 FORSØGSEMNER

Der udstøbes følgende emner :

100\*200mm eller 150\*300mm cylindre - antal 8 stk

Armerede plader - antal 2 stk

Cylindrene afformes efter ca. 1 døgn og opbevares herefter i vandbad til de skal prøves. Der foretages en registrering af vandets temperatur således at modenheden kan beregnes.

Pladerne afformes når de har opnået tilstrækkelig styrke og holdes derefter afdækkede med plastfolie indtil de skal prøves.

Der henvises iøvrigt til DS blade

Pladerne udføres i mål og med en armering som vist på fig. 1 og 2.

### 2.3 UDFØRELSE AF FORSØG

#### CYLINDRE :

Cylindrene inddeles i grupper a 2 og der udføres følgende forsøg :

Trykprøvning -	alder ca. 3 M20 døgn
-	- - 7 -
-	- - 28 -
E-modul	- - 28 -

Forsøgene udføres som beskrevet i DS

Inden prøvningen foretages en opmåling af cylinderens dimensioner og rumvægten bestemmes.

## PLADER :

Pladerne belastes som vist på fig. 1 og 2.

Under forsøgets udførelse skal der måles sammenhørende værdier af følgende størrelser :

1. Kraften  $P$
2. Den lodrette flytning af punkterne 1,2,3

Inden forsøget udføres skal beregnes pladernes flydelast.

Der foretages 3 aflæsninger af kraft og flytning pr. lasttrin.

Første aflæsning umiddelbart efter at lasten er påført, anden aflæsning 2 minutter efter første aflæsning og tredje aflæsning 5 minutter efter første aflæsning. Herefter øges lasten til næste lasttrin.

Når deformationerne er blevet så store at der er fare for ødelæggelse af måleure og transducere ved et eventuelt pludseligt brud i pladen afmonteres disse.

Under forsøgets udførelse iagttages og opmåles hvorledes brudlinierne forløber. Endvidere iagttages vippere.

## 2.4 RAPPORT

Hvert hold udarbejder en rapport der mindst indeholder :

1. Forsøgsbeskrivelse
2. Måleresultater med deraf afledte størrelser
3. Teoretisk beregnede resultater
4. Vurdering af forsøgsresultater



## CYLINDRE :

Der redegøres for betonens sammensætning og rumvægt.

På grundlag af de udførte forsøg beregnes for hver gruppe af cylindre med tilhørende modenhed de fundne middelværdier af trykstyrke og E-modul.

Disse værdier anføres sammen med de tilsvarende teoretiske værdier i skemaform.

## PLADER :

De ved forsøgene målte værdier anføres sammen med de tilsvarende teoretiske værdier i skemaform som vist nedenfor :  
Index m og t indikerer at der er tale om værdier baseret på målinger henholdsvis teoretisk beregnede værdier.

P anføres i kN,  $u^{erne}$  er flytninger og anføres i mm.

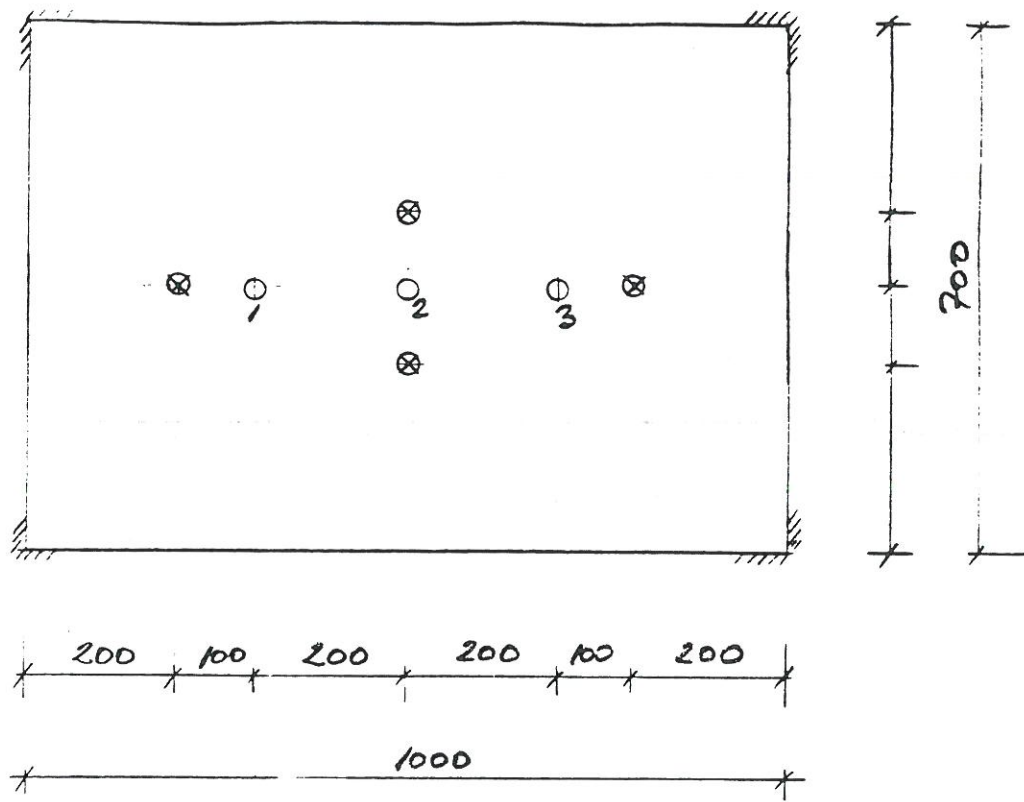
P	$u_{1,m}$	$u_{1,t}$	$u_{2,m}$	$u_{2,t}$	$u_{3,m}$	$u_{3,t}$	$P_{f,m}$	$P_{f,t}$
---	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Der optegnes kurver der viser sammenhæng mellem kraft og flytning. Både de målte og de teoretiske kurver optegnes. Samtlige beregninger og optegning af grafer udføres ved hjælp af regneark.

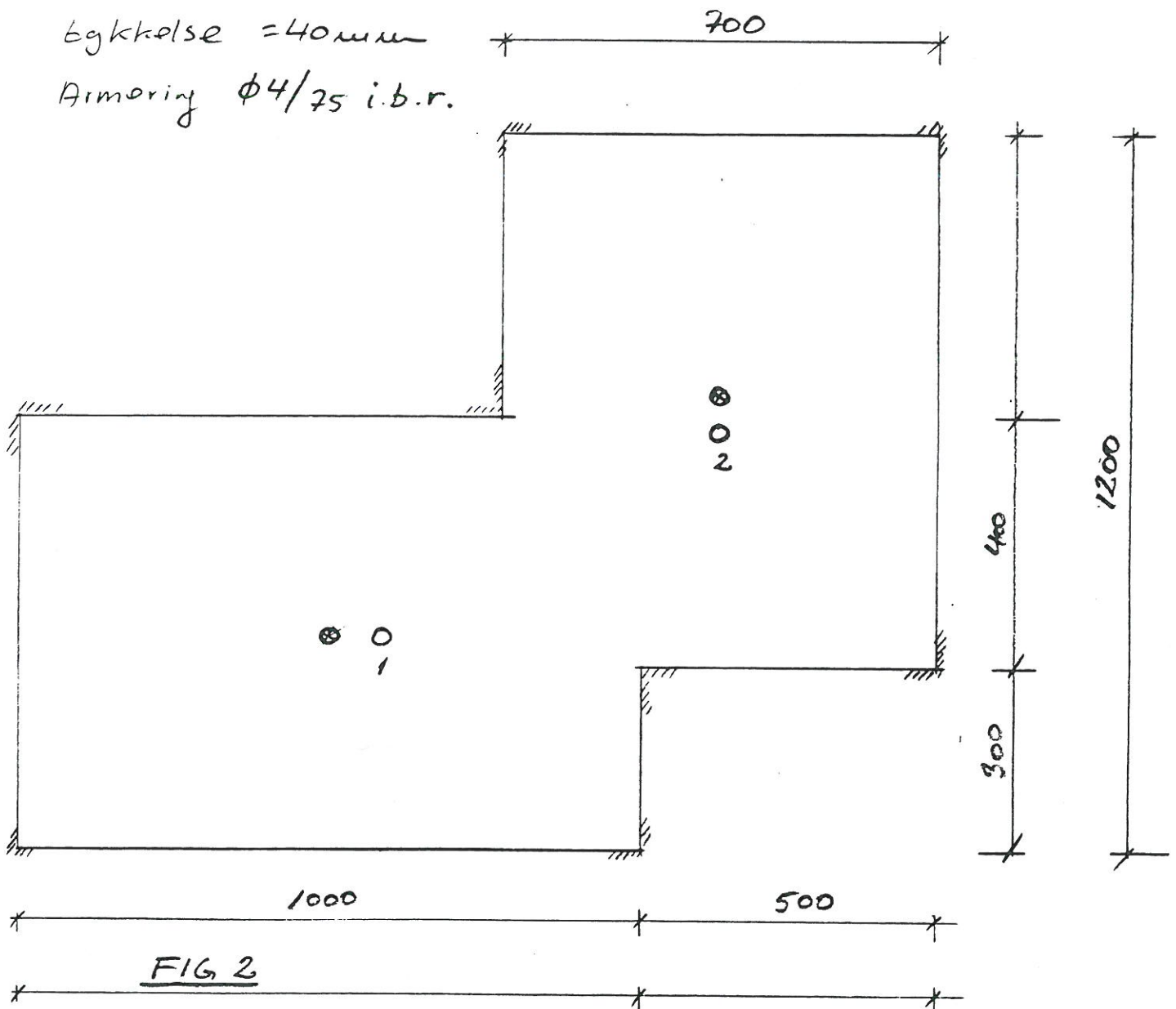
Den teoretiske beregning af nedbøjningerne kan eksempelvis udføres ved hjælp af et FEM program, medens flydelaster beregnes ved hjælp af K.W. Johansen.

Vurderingen af forsøgsresultaterne skal omfatte en beskrivelse af jernbetonpladernes virkemåde indtil brud. Desuden skal vurderingen indeholde en sammenligning mellem målte og tilsvarende teoretisk beregnede størrelser og kommentarer til afvigelser.

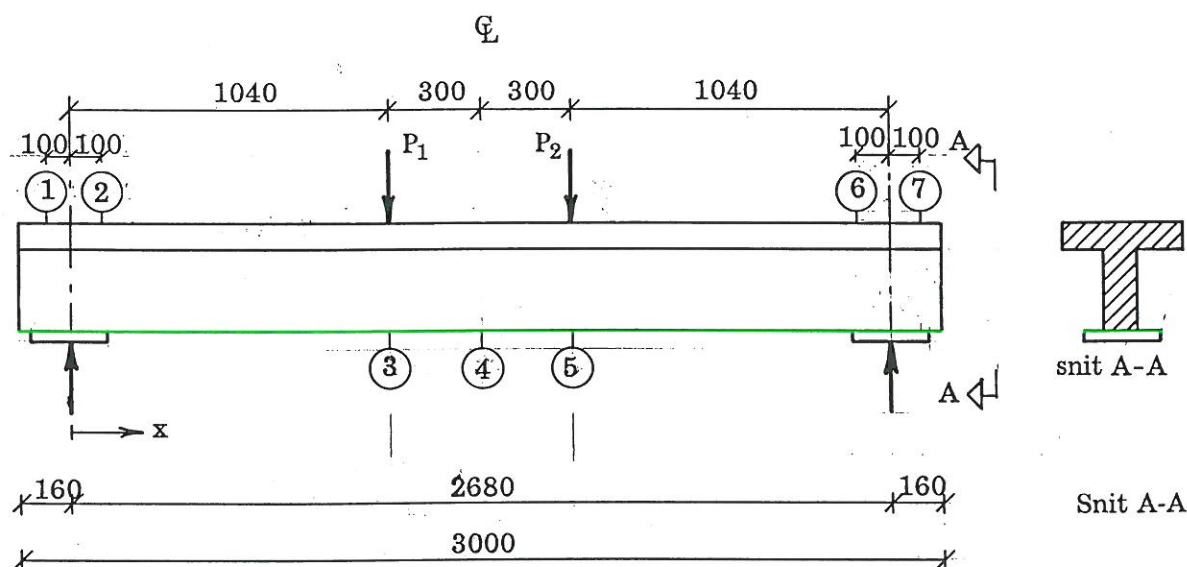
Specielt skal sammenlignes de observerede værdier af flydelasten med den tilsvarende teoretisk beregnede værdi. Endvidere sammenlignes den virkelige brudfigur med den skønnede brudfigur.



Ekkekkelse = 40mm  
 Armoring  $\phi 4/25$  i.b.r.







ubenævnte mål i mm.

**G. HESHE**

**VÆRKSTEDSKURSUS. VEJLEDNING VEDR. FREMSTILLING AF AR-  
MEREDE BETONBJÆLKER SAMT UDFØRELSE AF BÆREEVNEFOR-  
SØG MED DISSE BJÆLKER**

**JULI 1997**

**ISSN 1395-8232 U9706**

## INDHOLDSFORTEGNELSE

---

1. Indledning . . . . .	1
2. Teoretisk orientering . . . . .	1
3. Fremstilling af armeringsarrangement . . . . .	1
4. Blanding af udstøbning af beton . . . . .	3
5. Mærkning af forsøgsemnerne . . . . .	4
6. Afforskalling og lagring af bjælker og kontrolcylindre . . . . .	5
7. Udførelse af bæreevnforsøg . . . . .	5
7.1 Generelt . . . . .	5
7.2 Forsøgsudførelse . . . . .	9
8. Rapportering . . . . .	11
9. Laboratoriegrupper . . . . .	14
10. Tidsplan for værkstedskurset . . . . .	15
11. Afsluttende bemærkninger . . . . .	16

## Vejledning vedr. fremstilling af armerede betonbjælker samt udførelse af bæreevnepforsøg med disse bjælker

### 1. Indledning

Værkstedskursets varighed er én arbejdsuge bestående af 5 dage. De arbejdsaktiviteter, der er knyttet til værkstedskurset, vil kort blive beskrevet i det følgende.

Der skal i *Laboratoriet for Materialeteknologi* (hal nr. 7) fremstilles to bjælker, der på forhånd er designet således, at der forventes at optræde et forskydningsbrud i den ene bjælke og et bøjningsbrud i den anden bjælke.

For de to bjælketyper udføres der i *Laboratoriet for Bærende Konstruktioner* (bygning L, hal 4) bæreevnepforsøg ved belastning til brud. Da de to bjælker, der er fremstillet af laboratoriegruppen, ikke kan opnå tilstrækkelig styrke inden for omtalte arbejdsuge, er de bjælker, der skal anvendes ved bæreevnepforsøgene, tidligere blevet fremstillet i hal 7. Bjælkejournal, hvoraf støbetidspunkt og lagringsbetingelser fremgår, vil blive udleveret under værkstedskurset.

Deltagerne i værkstedskurset fordeles på 2 laboratoriegrupper, LI og LII.

Denne fordeling samt oplysning om de til laboratoriegruppen hørende forsøgsbjælker er angivet i kapitel 9 *Laboratiegrupper*.

Lokalitet og tidspunkt for de enkelte aktiviteter i værkstedskurset er angivet i tabel 1 i afsnit 10 *Tidsplan for værkstedskurset*.

For at få et tilstrækkeligt udbytte af omtalte værkstedskursus, er det nødvendigt at gennemlæse nærværende vejledning grundigt samt at sørge for, at den gennem 3. og 4. semester tilegnede aktuelle viden er "up to date".

### 2. Teoretisk orientering

Inden det praktiske arbejde i forbindelse med fremstillingen af de armerede betonbjælker påbegyndes, vil der blive givet en kort teoretisk orientering om diverse problemer i forbindelse med tildannelse af armering til en betonkonstruktion, støbning af bjælker, udførelse af forsøg m.m.

### 3. Fremstilling af armeringsarrangement

På baggrund af ovennævnte teoretiske orientering samt den praktiske vejledning, der vil blive givet under selve arbejdets udførelse, skal der fremstilles et armeringsarrangement til de to bjælker. Bjælkearmeringen og dens udformning er vist i figur 3, 4 og 5.

Arbejdet med fremstilling af armeringsarrangementet kaldes i daglig tale "at binde armering", hvilket kommer af, at armeringsstænger og bøjler "sammenbindes" til et stift "armeringsskelet" ved brug af bindetråd med en diameter på ca. 1,5 mm.



Hvis længdearmeringen er forsynet med to diametralt modsat placerede langsgående ribber, skal disse ribber placeres lodret over hinanden, således at de nedenfor omtalte opmålinger kan foretages til disse ribber. Armeringsstangens tværmål målt over de ovenfor nævnte ribber måles og noteres som  $d_y$ , se bilag B4.S2.

Stålet, der anvendes til armering af bjælkerne, er kamstål Ks550S og rundjern med en garanteret karakteristisk flydespænding på henholdsvis  $f_{yk} = 550$  MPa og  $f_{yk} = 235$  MPa. For kamstål og rundjern benyttes henholdsvis signaturen YS og R. Betegnelsen YS8 og R6 angiver således henholdsvis en stang af kamstål Ks550S med diameteren  $d = 8$  mm og rundjern med  $d = 6$  mm.

For hvert bjælkesæt = 2 bjælker udtages der 3 prøvestykker à 500 mm's længde af hver armeringstype R6, YS8 og YS16 til brug for senere bestemmelse af armeringens E-modul, samt brud- og flydespænding (0,2 pct.-spænding).

Armeringsprøvestykkerne bundtes med én dimension i hvert bundt. Disse bundter samles i ét bundt, der forsynes med identifikationsnummer, der klart viser, hvilket bjælkesæt, bestående af to bjælker, de pågældende bundt tilhører.

Inden armeringen anbringes i formene, måles den lodrette afstand  $b_h$  og  $b_v$ , i henholdsvis højre og venstre side, mellem centerlinierne for længdearmeringen i bjælkeundersiden samt  $d_y$ . Husk med en mærkepen at markere den bjælkeende, hvor snit 1-1 lægges, med et 1-tal omgivet af en cirkel.

Når armeringen er anbragt i formene måles afstandene  $a_h$  og  $a_v$  samt  $c_h$  og  $c_v$  til overkanten af den langsgående ribbe på henholdsvis det øverste armeringslag i bjælkebunden og de 2 armeringsstænger over kroppen i bjælkeoversiden samt bjælkehøjden  $h$ .

Positionerne for  $a$ ,  $b$ ,  $c$  og  $h$ , der måles i 3 snit samt  $d_y$ , fremgår af bilag B4.S2. På B4.S2 er der desuden et skema til notering af de målte størrelser.

Der udleveres to stk. bilag B4.S2. Det ene eksemplar skal udfyldes under omhyggelig opmåling af det fremstillede armeringsarrangement. I det andet eksemplar er armeringens placering angivet i de bjælker, som den pågældende laboratoriegruppe skal udføre bæreevnepforsøg for.

Ud fra ovennævnte mål er armeringens placering givet, og den effektive højde  $h_{ef}$  kan bestemmes.

I beregningerne, der skal udføres i forbindelse med vurdering af forsøgsresultaterne, regnes der med gennemsnitsværdien, mærket med indeks  $m$ , for de målte afstande i henholdsvis højre og venstre side, dvs.  $a_m = 0,5(a_h + a_v)$  osv.

Det er nødvendigt at udføre et omhyggeligt og præcist arbejde ved binding af armeringen samt en omhyggelig opmåling af de nævnte størrelser  $a$ ,  $b$ ,  $c$  og  $d_y$ , idet disse mål skal udleveres til de studerende, der næste år skal gennemføre bæreevnepforsøg med de fremstillede bjælker. Målene skal bruges ved vurderingen af de ved bæreevnepforsøget fundne resultater.

*Én ekstra kopi af de udfyldte blanketter B4.S2 (en for hver bjælke) afleveres til Bodil Jensen sammen med den rapport, der afleveres i forbindelse med afslutningen af værkstedskurset. Rapporten skal afleveres senest én uge efter, at værkstedskurset er afsluttet.*

#### 4. Blanding og udstøbning af beton

Idet der ønskes en middeltrykstyrke efter 28 døgn på  $f_{cm} = 20$  MPa benyttes den nedenfor angivne blandingsrecept for betonen. Det angivne blandingsforhold er under forudsætning af anvendelse af vandmættede, overfladetørre materialer, hvorfor det er nødvendigt at korrigere for det frie vand, der findes i tilslagsmaterialerne. Der kan regnes med en absorption på  $w_a = 1\%$ . Der tilstræbes et sætmål på 30–60 mm.

Sammensætning af materialer ved 200 l beton

basis-cement	41,0 kg
sand (Dansand)	248,0 kg
sten( $d_{max} = 8$ mm)	126,0 kg
vand	<u>31,6 kg</u>
i alt	446,6 kg

Det er nødvendigt for at opnå et godt resultat, at der udvises stor omhyggelighed ved afvejning af materialer, ved måling af tilslagets vandindhold, samt ved blanding og udstøbning af betonen.

Ved fremstilling af betonen er det vigtigt, at man benytter den viden, der forudsættes tilegnet i materiallærekurset på 3. semester. Det er således nødvendigt omhyggeligt at bestemme vandindholdet i tilslagsmaterialerne og tage hensyn til dette ved opmåling af de mængder cement, vand, sand og sten, der skal indgå i blandingen.

Hvis det ved bestemmelse af sætmålet viser sig at være nødvendigt at korrigere, skal dette gøres omhyggeligt efter de foreskrevne retningslinier (aflæses i diagrammer).

Der skal bruges ca. 200 liter beton til fremstilling af én T-bjælke + 6 kontrolcylindre ( $dxh = 100 \times 200$  mm). Kontrolcylindrene benyttes til bestemmelse af betonens enaksede trykstyrke og begyndelseselasticitetskoefficienten  $E_0$ . De 200 liter beton blandes i én batch i laboratoriets blandemaskine.

Der benyttes 3 cylindre til bestemmelse af betonens trykstyrke og 3 til bestemmelse af betonens elasticitetskoefficient.

Det er vigtigt, at krav og anvisninger i DS 423.13 *Fremstilling og lagring af støbte prøvelegemer til styrkebestemmelse* følges meget nøje, da der ellers er risiko for, at cylindrene bliver så dårlige, at de ikke kan benyttes til bestemmelse af en pålidelig værdi for den aktuelle betons enaksede trykstyrke.

Betonen udlægges i bjælkeformen i passende tykkelser og komprimeres ved anvendelse af stavvibratorer.

Hvis der, mod forventning, hos deltagerne i værkstedskurset hersker nogen som helst tvivl om fremgangsmåden ved fremstilling af en god beton, bedes denne tvivl bragt ud af verden inden den dag, hvor støbearbejdet skal udføres, da der denne dag ikke er tid og plads for nogen tvivlrådighed på dette område.



## 5. Mærkning af forsøgsemnerne

Af hensyn til identifikation og sporbarhed er det vigtigt, at alle forsøgsemner, dvs. armeringsprøvestykker og bjælker med tilhørende kontrolcylindre, mærkes med et identifikationsnummer på en tydelig og entydig måde.

Armeringsprøvestykkerne for hver dimension i et bjælkesæt (2 bjælker) sammenbindes i et bundt og forsynes ligeledes med et identifikationsnummer. Det er vigtigt med en tydelig og klar nummerering, da bjælkerne med tilhørende armeringsprøvestykker og kontrolcylindre skal opbevares et år i betonlaboratoriet, inden der skal udføres forsøg med disse prøveemner i *Laboratoriet for Bærende Konstruktioner*.

Disse forsøg udføres af den efterfølgende årgang af studerende.

Når armeringen til en bjælke er bundet, dvs. når armeringsskelettet er opbygget og klar til indstøbning i betonen, skal denne armering midlertidig mærkes med bjælkens identifikationsnummer, da støbning af bjælken ikke foregår samme dag som binding af armeringen.

Nedenfor er vist et eksempel på nummerering af en bjælke med tilhørende kontrolcylindre og armeringsprøvestykker.

Bjælke:	280597 R6.1	markerer, at det er en bjælke, der er forskydningsarmeret med bøjler bestående af rundjern med $d = 6$ mm. Bjælken er støbt den 28. maj 1997 af laboratoriegruppe I
	300597 K8.1	markerer, at det er en bjælke, der er forskydningsarmeret med bøjler bestående af kamstål med $d = 8$ mm. Bjælken er støbt den 30. maj 1997 af laboratoriegruppe I
Kontrolcylindre:	280597 R6-1-n	markerer, at det er cylinder nr. $n$ ( $n = 1 \dots 6$ ) af de 6 kontrolcylindre tilhørende bjælken, der er forskydningsarmeret med bøjler af rundjern med $d = 6$ mm og støbt den 28. maj 1997
	300597 K8-1-n	markerer, at det er cylinder nr. $n$ af de 6 kontrolcylindre tilhørende bjælken, der er forskydningsarmeret med bøjler af kamstål med $d = 8$ mm og støbt den 30. maj 1997
Prøvestænger:	YS 16 R6.1/K8.1	markerer, at det er prøvestænger af kamstål med $d = 16$ mm tilhørende bjælkesættet bestående af bjælkerne R6.1 og K8.1
	YS 8 R6.1/K8.1	markerer, at det er prøvestænger af kamstål med $d = 8$ mm tilhørende bjælkesættet bestående af bjælkerne R6.1 og K8.1
	R 6 R6.1	markerer, at det er prøvestænger af rundjern med $d = 6$ mm tilhørende bjælken R6.1

## 6. Afforskalling og lagring af bjælker og kontrolcylindre

Kort tid efter at bjælkeformene er udstøbte og bjælkeoversiderne er afrettede, anbringes bjælkerne sammen med kontrolcylindre i klimakammeret i hal 7 ved ca. 38°C og ca. 100% luftfugtighed.

Dagen efter bjælkestøbningen afforskalles bjælker og kontrolcylindre, hvorefter de fortsat opbevares i klimakammeret i 7 dage ved den ovenfor angivne temperatur og luftfugtighed.

Efter 7 dage tager laboratoriepersonalet bjælker og kontrolcylindre ud af klimakammeret og anbringer alle prøvelegemer ved luftlagring, indtil de skal benyttes til bæreevnforsøg efter ca. et års forløb.

Efter bjælkestøbningen påbegyndes en bjælkejournal, der skal angive datoer for støbning og ændring i lagringsforhold samt en kort beskrivelse af de enkelte lagringsforhold, indtil der udføres bæreevnforsøg for bjælken. Kursusdeltagerne påbegynder bjælkejournalen, og laboratoriepersonalet viderefører den, indtil udførelsen af bæreevnforsøgene foretages.

## 7. Udførelse af bæreevnforsøg

### 7.1 Generelt

Ved dette bæreevnforsøg belastes to simpelt understøttede armerede betonbjælker med T-formet tværsnit til brud. Bjælkerne har to bevægelige lejer, for  $x$  lig henholdsvis 0 og 2680 mm.

Lasten består, foruden af egenvægten, af to symmetrisk virkende lige store enkeltkræfter, se fig. 1.

Bjælkerne dimensioner og armering er vist i figur 3 og 4. Det bemærkes, at den eneste forskel på de to bjælker er bøjleantal, bøjledimension og bøjlemateriale, idet de har samme længdearmering og er støbt samtidig med en beton med samme blandingsforhold, hvorved det er tilstræbt at opnå samme betonstyrke i de to bjælker.

På begge bjælker udføres flytningsmålinger med induktive flytningstransducere og måleur.

På bjælkerne måles flytninger i 3 punkter på bjælkens underside, og i 4 punkter på bjælkens overside, nemlig under bjælkemidten, under de to kraftangrebspunkter og omkring understøtningerne. En tilnærmet værdi for krumningen ved bjælkemidten beregnes af de målte flytninger og udskrives sammen med kræfterne  $P_1$  og  $P_2$ , samt flytningerne  $u_1 - u_7$  via styrecomputer på printer. Krumningen beregnes af

$$\kappa = \frac{2 \cdot u_4 - (u_3 + u_5)}{300^2 \sqrt{1 - \left(\frac{u_3 - u_5}{600}\right)^2}} \quad (1)$$

Desuden beregnes og udskrives vinkeldrejningerne ved understøtningerne.

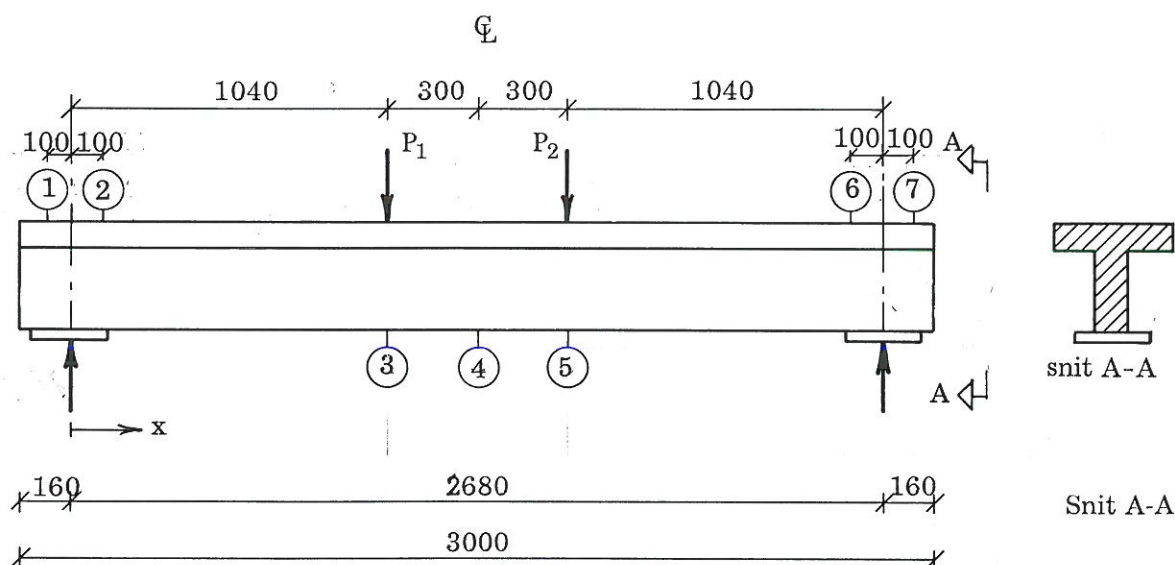
Målepunkterne på bjælkerne er markeret med signaturen O, se fig. 1.

Efter en grundig gennemlæsning af forsøgsvejledningen bør der udarbejdes en checkliste, der giver overblik over de aktiviteter, der skal udføres før, under og efter forsøget.

*Kopi af flg. data afleveres til Gert Heshe senest en uge efter forsøgets udførelse:*

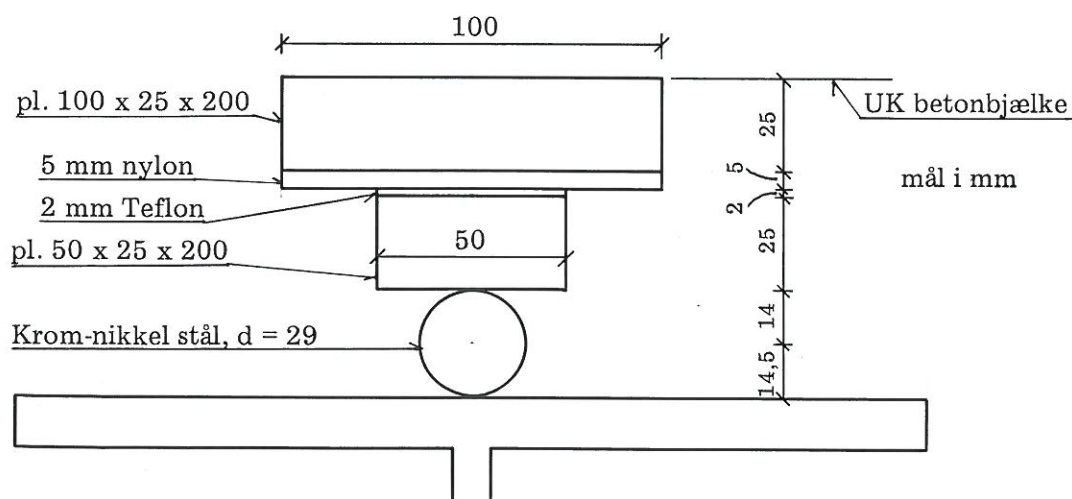
- Skema B4.S1 Opmåling af bjælkedimensioner
- Skema B4.S2 med resultater af opmåling af armeringens placering
- Skema B4.S3 Materialedata for armeringen
- Skema B4.S4 Materialedata for betonen
- De udskrevne, målte flytninger
- De under forsøget optegnede arbejdslinier for armering og beton
- Målte revnevidder og revnevinkler
- Målte relative flytninger mellem lejedelene

*Husk at alt materiale skal være mærket med bjælkernes identifikationsnumre.*



ubenævnte mål i mm.

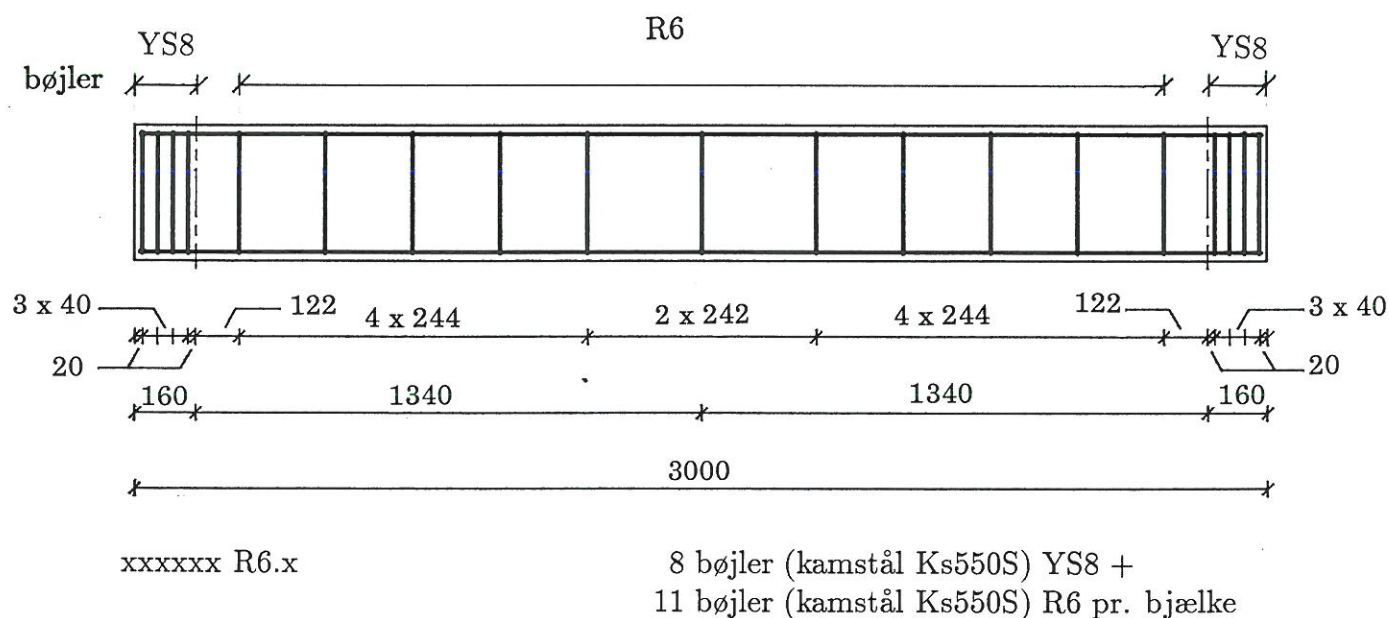
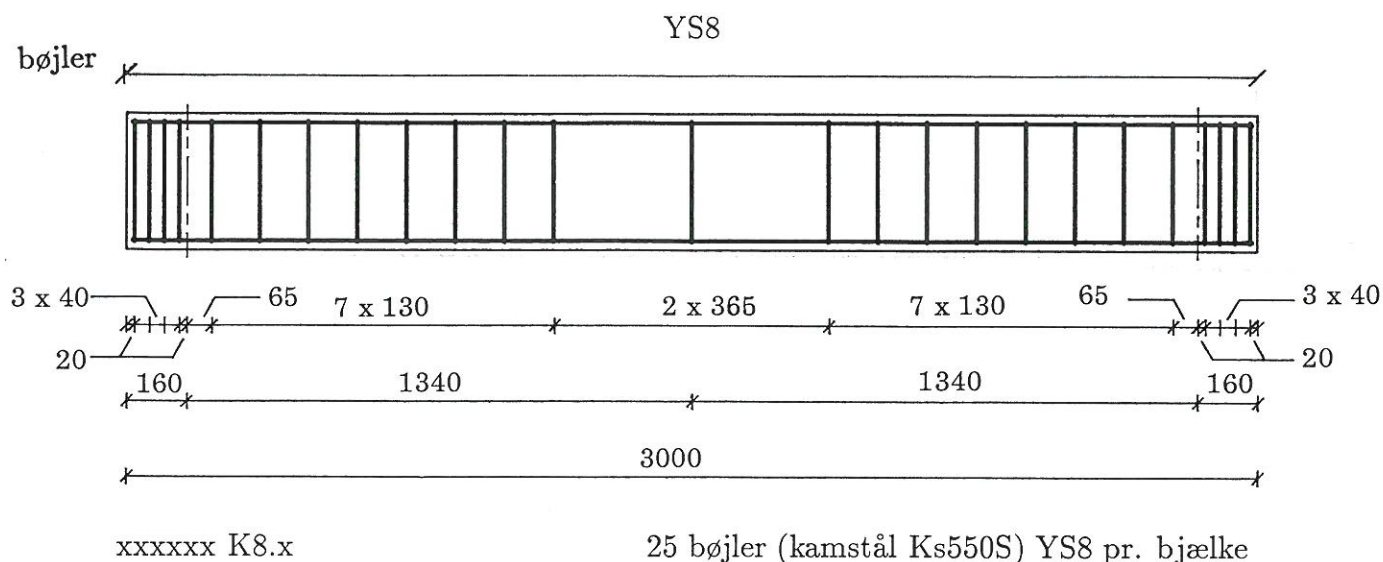
Figur 1: Opstalt af bjælke med angivelse af målepunkter og kraftangrebspunkter.



Figur 2. Detail af lejer.

1:2





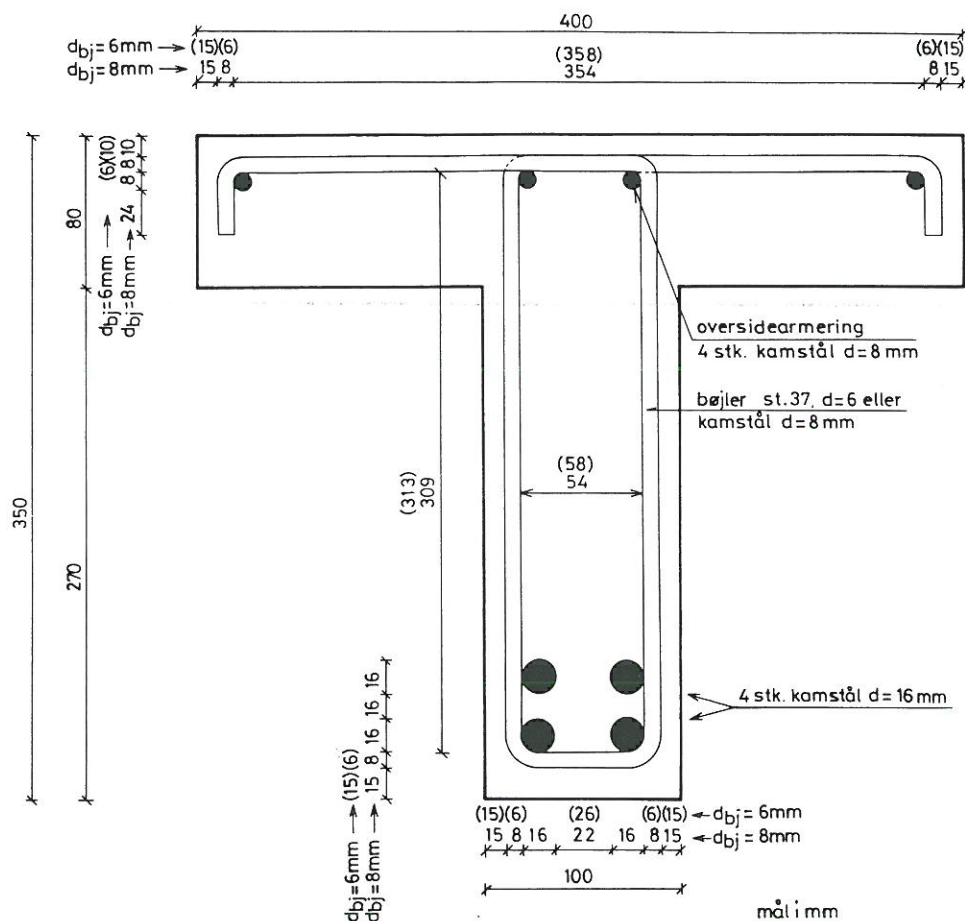
Længdearmring i alle bjælker er 4 stk. Ks550S med  $d = 16$  mm i bjælkebunden og 4 stk. kamstål Ks550S med  $d = 8$  mm i bjælkeoversiden.

Afskærlængde for længdearmringen er  $l = 2990$  mm.

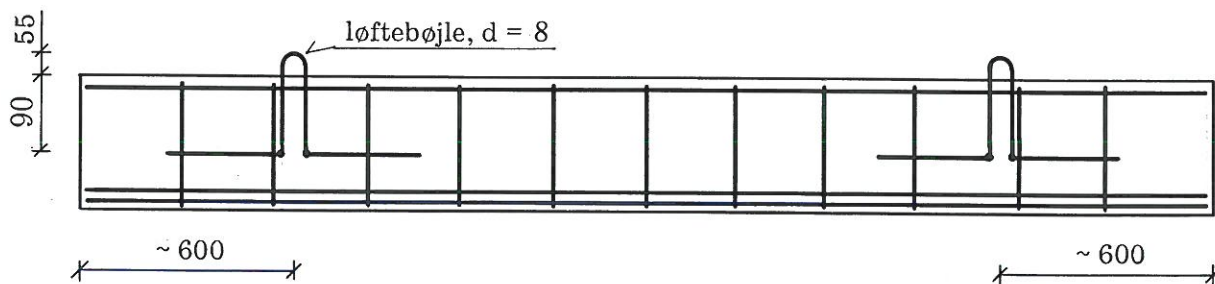
Bjælketværsnittet er vist i fig. 4.

Bemærk: Målet 20 mm ved hver bjælkeende angiver målet til centerlinien for de yderste bøjler og ikke målet til længdearmringens stangende.

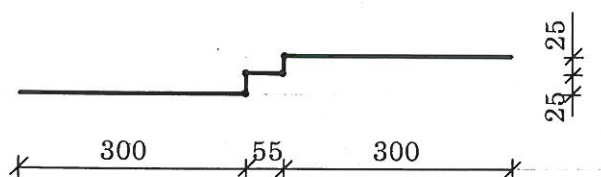
Figur 3: Længde- og bøjlearmering.



Figur 4: Tværsnit af armeret betonbjælke type xxxxK8.x. Tal i parentes gælder for betonbjælke type xxxx R6.x.

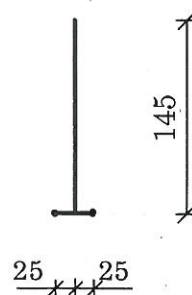


Placering af løftebøjler 1:20



Løftebøjle, vandret projektion 1:10  
Bukkediameter for løftebøjler  $D \cong 16$  mm

mål i mm



Lodret projektion 1:10

Figur 5: Løftebøjler



## 7.2 Forsøgets udførelse

Før bjælkeforsøgets start bør der foretages en opmåling af bjælketværsnittet f.eks. ved enderne og på midten samt en kontrol af forsøgsopstillingen.

Resultatet af opmålingen noteres i bilag B4.S1. Er der behov for ekstra eksemplarer af B4.S1 kan disse fås i laboratoriet. Der er plads til opmåling af 2 bjælker på bilag B4.S1. Husk på bilaget at angive bjælkernes identifikationsnummer.

Forsøget indledes med at påføre bjælkerne belastningen  $P_1 = P_2 = 2kN$ . Efter 1 minut aflastes igen, hvorefter flytningstransducerne monteres, og det egentlige forsøg kan begynde. Denne del af forsøget udføres af laboratoriets personale.

Ved forsøget måles sammenhørende værdier af lasterne  $P_1, P_2$  og flytningerne af de i figur 1 viste målepunkter.

Måledata opsamles via dataopsamlingssystem på computer, hvor måledata bearbejdes og udskrives. De målte data lagres på diskette.

Der foretages 3 aflæsninger af flytningstransducere og kraftpåvirkning pr. lasttrin.

Første aflæsning foretages umiddelbart, efter lasten er påført. Anden aflæsning 2 minutter efter første aflæsning og tredje aflæsning 5 minutter efter første aflæsning. Herefter øges lasten til næste lasttrin.

Lasten påføres som angivet nedenfor, idet talangivelserne gælder for hver af kræfterne  $P_1$  og  $P_2$ :

Bjælken med R6-bøjler mellem understøtningerne. (Bjælketype xxxxxx R6.x)

Der foretages en nulaflæsning, hvorefter lasten øges som angivet.

$0 \leq P \leq 10 \text{ kN}$	$\Delta P = 5 \text{ kN}$
$10 \leq P \leq 20 \text{ kN}$	$\Delta P = 2 \text{ kN}$
$20 \leq P \leq 100 \text{ kN}$	mindst af $\Delta P = 20 \text{ kN}$ eller $\Delta u_4 \cong 1,0 \text{ mm}$
$100 \leq P \leq \text{brud}$	mindst af $\Delta P = 10 \text{ kN}$ eller $\Delta u_4 \cong 1,0 \text{ mm}$

Bjælken med YS8-bøjler mellem understøtningerne: (Bjælketype xxxxxx K8.x)

Der foretages en nulaflæsning, hvorefter lasten øges som angivet.

$0 \leq P \leq 10 \text{ kN}$	$\Delta P = 5 \text{ kN}$
$10 \leq P \leq 20 \text{ kN}$	$\Delta P = 2 \text{ kN}$
$20 \leq P \leq 120 \text{ kN}$	mindst af $\Delta P = 20 \text{ kN}$ eller $\Delta u_4 \cong 2,0 \text{ mm}$
$120 \leq P \leq \text{brud}$	mindst af $\Delta P = 10 \text{ kN}$ eller $\Delta u_4 \cong 2,0 \text{ mm}$

Når flytningstilvæksten fra et lasttrin til det næste er blevet relativ stor, f.eks. når flytningstilvæksten pr. lasttilvækst på 10 kN er 3 gange så stor som første flytnings-

tilvækst pr. 10 kN for  $P \geq 100$  kN for bjælker med R6-bøjler og for  $P \geq 120$  kN for bjælker med YS 8-bøjler, foretages der kun 2 aflæsninger pr. lasttrin. Første aflæsning foretages umiddelbar efter at lasten er påført og anden aflæsning 2 minutter efter første aflæsning.

Senest ved belastningen henholdsvis 80 kN og 100 kN ved bjælker med R6 og YS8 bøjler monteres et måleur til måling af bjælkeundersidens flytning ved bjælkemidten. Måleurets visning noteres sammen med tilhørende værdier af  $P_1$  og  $P_2$  på samme tidspunkt, som der foretages flytningsmåling ved hjælp af flytningstransducerne, hvorved forbindelse mellem målinger med henholdsvis flytningstransducer og måleur etableres.

Når deformationerne er blevet så store, at der er fare for ødelæggelse af flytningstransducerne ved et eventuelt pludseligt brud i bjælken, afmonteres disse flytningsmålere.

For forsøgsbjælkerne, der er støbt ca. et år før afprøvningen, udleveres der i kursusmaterialet en opmåling af armeringens faktiske placering i bjælken. Denne opmåling er vist i bilag B4.S2.

Inden laboratorieforsøgenes udførelse beregnes bjælkernes revnelast, bøjningsflydelast og forskydningsbæreevne således, at man kan være specielt opmærksom på bjælkernes opførsel omkring disse laster.

Lasterne, der fremkalder den første revne og begyndende flydning, noteres.

Til brug for ovennævnte foreløbige beregninger kan der regnes med flg. værdier fundet ved tidligere forsøg:

beton	$f_{cm} = 20 \text{ N/mm}^2$	
kamstål $d = 16 \text{ mm}$	$f_{ym} = 620 \text{ N/mm}^2$	$f_{um} = 810 \text{ N/mm}^2$
kamstål $d = 8 \text{ mm}$	$f_{ym} = 600 \text{ N/mm}^2$	$f_{um} = 700 \text{ N/mm}^2$
rundjern $d = 6 \text{ mm}$	$f_{ym} = 300 \text{ N/mm}^2$	$f_{um} = 350 \text{ N/mm}^2$

I den endelige beregning anvendes de materialedata, der er fundet ved egne forsøg.

De første revner markeres tydeligt på bjælken ved opstregning samt markering af revnernes afslutning med påskrift af tilhørende lasttrin. Derefter optegnes revnebilledet med påskrift af tilhørende lasttrin ved lasterne 40, 60, 80, 100 ... brud i kN for begge bjælker.

Der udvælges 3 markante revner, benævnt R1, R2 og R3, (R1 mellem kraftangrebspunkterne, R2 og R3 mellem kraftangrebspunkt og understøtning), og for disse revner måles revnevidden på bjælkesiden i niveau med det nederste armeringslags tyngdepunktslinie samt ved det transformerede revnede betontværsnits tyngdepunktslinie ved ovennævnte lastniveauer. Desuden måles revnevinklen de pågældende steder.

Ved forsøgets afslutning tages der 2 fotos af revnebilledet, nemlig af venstre og højre bjælkehalvdel. Husk at markere midtpunktet på bjælkerne, således at billederne evt. kan klippes sammen til eet revnebillede, samt at bjælkebetegnelsen kommer med på billedet.



Vandrette forskydninger mellem lejedelene måles med skydelære og noteres ved lasttrinene 40, 60, 80, 100 ... brud i kN.

Til hver bjælke hører der  $2 \times 3$  betoncylindre. Desuden er der tre prøvestænger af hver af de anvendte armeringsdiametre. Til brug for de endelige beregninger, for sammenligning mellem de teoretisk beregnede værdier og de målte værdier, belastes disse prøvelegemer til brud.

For armeringsstålet optegnes arbejdslinien og flyde- eller 0,2 pct-spændingen og brudspændingen samt begyndelseselasticitetsmodul bestemmes og indføres i bilag B4.S3 med angivelse af spredning og variationskoefficient. Måleinstrumenterne afmonteres på et passende tidligt tidspunkt, før fare for ødelæggelse ved brud i prøvestængerne opstår.

Af de  $2 \times 3$  betoncylindre, der støbes for hver bjælke til bestemmelse af materialeparametrene for den anvendte beton, bestemmes elasticitetsmodul og brudspænding for 3 cylindre. For de resterende 3 cylindre bestemmes kun brudspændingen. Resultaterne indføres i bilag B4.S4 med angivelse af spredning og variationskoefficient.

Ekstra eksemplarer af bilagene B4.S3 og B4.S4 kan fås i laboratoriet.

Ekstra eksemplar af bilagene B4.S3 og B4.S4 i udfyldt stand gældende for de producerede bjælker afleveres til Gert Heshe senest en uge efter værkstedskursets afslutning. Husk at forsyne bilagene med bjælkens identifikationsnummer.

## 8. Rapportering vedr. det i værkstedskurset udførte arbejde

Hver laboratoriegruppe udarbejder en rapport indeholdende mindst:

- a) forsøgsbeskrivelse
- b) resultatangivelse
- c) optegning af de ved forsøget fundne relationer mellem kraften  $P$  og flytningen  $u_4$  eller mellem det maksimale moment og flytningen  $u_4$ , samt mellem kraften  $P$  og vinkeldrejningerne over understøtningerne. Desuden optegnes den teoretisk beregnede relation mellem kraft og flytning eller moment og flytning, samt mellem kraft og vinkeldrejninger. De teoretiske kurver optegnes ved beregning af få markante punkter, f.eks. svarende til  $\kappa_R$ ,  $\kappa_A$ ,  $\kappa_y$  og  $\kappa_{2y}$ ,
 

$\kappa_R$  er krumningen svarende til revnemomentets størrelse

$\kappa_A$  er krumningen svarende til en krumning mellem  $\kappa_r$  og  $\kappa_y$ ,

$\kappa_y$  er krumningen svarende til netop forekommende flydning i det øverste trækarmeringslag, dvs.  $\varepsilon_s = \varepsilon_y$  i øverste trækarmeringslag.

$\kappa_{2y}$  er krumningen svarende til  $\varepsilon_s = 2\varepsilon_y$  i øverste trækarmeringslag.
- d) foto af revneudviklingen for begge bjælker
- e) vurdering af forsøgsresultaterne

Vurderingen af forsøgsresultaterne skal omfatte en beskrivelse af jernbetonbjælkernes virkemåde indtil brud, idet bjælkerne er påvirket af 2 symmetrisk anbragte enkeltkræfter, som angivet i figur 1. Desuden skal vurderingen indeholde en sammenligning mellem de målte nedbøjninger og vinkeldrejninger og de tilhørende teoretisk beregnede nedbøjninger og vinkeldrejninger for de 2 bjælketyper samt kommentarer til observerede afvigelser.

Vedr. beregning af nedbøjning og vinkeldrejning, se f.eks. Gert Heshe: *Beregning af en armeret betonbjælkes nedbøjning og vinkeldrejning*.

Derudover skal rapporten indeholde en sammenligning med de resultater, der er opnået ved den anden laboratoriegruppens forsøg, med tilhørende kommentarer.

Det teoretiske revne- og flydemoment samt forskydningsbrudlasten beregnes i henhold til DS 411 og sammenlignes med de tilsvarende ved forsøg fundne værdier, og eventuelle afvigelser kommenteres. Ved bestemmelse af den teoretiske forskydningsbrudlast anvendes dog ikke DS 411's begrænsning  $\cot \theta < 2$ , se nedenfor.

Vurderingen skal endvidere indeholde en beskrivelse af forskydningsarmeringsarrangementets indflydelse på bruddets udvikling og på bjælkens bæreevne, idet der fokuseres på den belastning, der giver den første betydelige revneudvikling og den belastning, der svarer til bjælkens bæreevne.

Under forsøget bemærkes, hvor og ved hvilken belastning betonen revner.

Betonens bøjningstrækstyrke kan sættes til  $f_{tm} \cong 2 \cdot \sqrt{0,1 \cdot f_{cm}}$  MPa.  $f_{cm}$  er den fundne middelværdi for betonens trykstyrke.

Der skal erindres om, at inertimomentet ændres ved revneudviklingen, idet det effektive tværsnit ændres, når bjælken går fra urevnet til revnet tilstand.

Den lille bøjlearmeringsprocent i bjælken, der er forskydningsarmeret med bøjler af rundjern med  $d = 6$  mm, bevirker, at det skrå betontryks vinkel  $\theta$  med vandret bliver mindre end den i DS 411 angivne nedre grænse svarende til  $\cot \theta = 2$ .

En værdi for  $\cot \theta$  til anvendelse i beregningen af forskydningsbæreevnen kan bestemmes som angivet nedenfor.

Ifølge diagonaltrykmetoden (se f.eks. "Armerede betonbjælker" af Knud Christiansen og "Diagonaltrykmetoden med kobling til formlerne i DS 411 og Eurocodes No. 2 (EC2) til bestemmelse af forskydningsbæreevnen" af G. Heshe) kan der, hvis bøjlerne er afgørende for forskydningsbæreevnen, optages en forskydningskraft bestemt ved

$$V = A_t \cdot f_{tym} \cdot \frac{h_{int}}{a_t} \cdot \cot \theta \quad (2)$$

$f_{tym}$  er bøjlematerialets flydespænding eller 0,2 pct-spænding.

Hvis det skrå betontryk  $\sigma_c$  er afgørende for forskydningsbæreevnen, kan der optages en forskydningskraft bestemt ved

$$V = \sigma_c \cdot b \cdot h_{int} \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (3)$$

indsættes

$$\sigma_c = \nu \cdot f_{cm} \quad (4)$$

i (3) fås

$$V = \nu \cdot f_{cm} \cdot b \cdot h_{int} \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (5)$$

hvor  $f_{cm}$  er middeltrykbrudstyrken for betonen i bjælkekroppen. En optimering af bæreevnen fås ved at sætte (2) = (5), idet både betonen og forskydningsarmeringen derved er fuldt udnyttede. Dvs.

$$A_t \cdot f_{ty} \cdot \frac{h_{int}}{a_t} \cdot \cot \theta = \nu \cdot f_{cm} \cdot b \cdot h_{int} \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta$$

hvoraf fås

$$\sin^2 \theta = \frac{A_t \cdot f_{ty}}{b \cdot a_t \cdot f_{cm}} \cdot \frac{1}{\nu} \quad (6)$$

indsættes

$$\psi = \frac{A_t \cdot f_{ty}}{b \cdot a_t \cdot f_{cm}} \quad \text{og} \quad \sin^2 \theta = \frac{1}{1 + \cot^2 \theta} \quad \text{i} \quad (6)$$

fås

$$\cot \theta = \sqrt{\frac{\nu - \psi}{\psi}} \quad (7)$$

som altså er den værdi for  $\cot \theta$ , der ifølge en plasticitets-teoretisk beregning giver fuld udnyttelse af såvel forskydningsarmering som beton.

Det kan vises, se M. P. Nielsens "*Limit Analysis and Concrete Plasticity*", at vinklen  $\theta$  ikke kan regnes mindre end halvdelen af vinklen mellem vandret og en linie gående fra forkant understøtningsplade til kant af lastplade, dvs.  $\cot 2\theta = \frac{1040 - 2 \cdot 50}{350} = 2,69$ . Dette betyder, at max. værdien for  $\cot \theta$  er

$$\cot \theta \leq \simeq 5,6 \quad (8)$$

Med den af (7) beregnede værdi for  $\theta$  med tilhørende begrænsning ( $\cot \theta \leq 5,4$ ) beregnes forskydningsbæreevnen  $V_u$  derefter af (2) eller (5).

Effektivitetsfaktoren  $\nu$  er bestemt ved forsøg ved vurdering af et meget stort forsøgsmateriale for bjælker med forskydningsbrud. Den bedste værdi for  $\nu$  blev bestemt til

$$\nu = 0,8 - \frac{f_{cm}}{200} \quad (f_{cm} \text{ i N/mm}^2) \quad (9)$$



hvorfor det anbefales, at denne værdi for  $\nu$  anvendes ved vurdering af resultaterne af de udførte bjælkeforsøg.

Det skal bemærkes, at man på den sikre side har valgt at anvende  $\nu = 0,7 - \frac{f_{cm}}{200}$  i DS 411.

## 9. Laboratoriegrupper

De tilmeldte deltagere i nærværende værkstedskursus er fordelt på laboratoriegrupperne I og II som angivet nedenfor:

<u>Laboratiegruppe I:</u>	Morten Liingaard	Søren Søndergaard
	Marlene Madsen	Thomas Østergaard Hansen
	Peter Madsen	Jakob Kloster
	Thomas Orkild	Tom Jepsen
	Poul L. Pedersen	

Laboratiegruppe I udfører bæreevneporsøg med bjælkerne med identifikationsnumrene: 280597 R6.1

300597 K8.1

med dertil hørende 3×3 stk. armeringsprøvestænger og 2×3 stk. kontrolcylindre.

<u>Laboratiegruppe II:</u>	Anette Haarup-Jensen	Heine Kjeldsen Jensen
	Jes Elbæk Pedersen	Jan Per Jensen
	Søren Skov Pedersen	Jacob Therkelsen
	Jeppe Steensgård	Jesper Larsen
	Søren Falkenberg	Thomas Nørrestrand

Laboratiegruppe II udfører bæreevneporsøg med bjælkerne med identifikationsnumrene: 280597 R6.2

030697 K8.2

med dertil hørende 3×3 stk. armeringsprøvestænger og 2×3 stk. kontrolcylindre.

## 10. Tidsplan for værkstedskurset

Tidsplanen for afvikling af omhandlede værkstedskursus er vist i tabel 1, hvor lokaliteten for de enkelte aktiviteter ligeledes er angivet.

Den teoretiske orientering varer ca. 1 1/2 time, klipning og binding af armering ca. 3 timer, støbning af bjælker og cylindre ca. 3 timer, laboratorieforsøg ca. 3 1/2 time og afforskalling ca. 1 time.

Til afforskallingsarbejdet er der kun behov for 6 personer fra laboratoriegruppen. Tidspunkt for afforskalling samt navne på de 6 personer aftales med Nic. Flint under støbearbejdet.

Tidsplan for værkstedskurset: Fabrikation og prøvning af konstruktionselementer								
Dato og tidspkt.	Teoretisk orientering	Klipning og binding af armering	Afvejning af materialer samt støbning	Afforskalling	Forsøgsplanlægning	Udførelse af laboratorieforsøg	Behandling og redigering af forsøgsdata	Rapportering
Lokale	F 109	Hal 7	Hal 7	Hal 7		L Hal 4		
08.15 970825 12.30	I+II	I			I+II I+II			
08.15 970826 12.30		II	I		I+II I+II			
08.15 970827 12.30			II	I	II I+II	I	I	
08.15 970828 12.30				II		II	II I+II	I I+II
08.15 970829 12.30								I+II I+II

Tabel 1. Tidsplan for værkstedskurset for laboratoriegrupperne I og II samt angivelse af lokalitet for afvikling af de enkelte aktiviteter.

### 11. Afsluttende bemærkning

Af hensyn til vurderingen af forsøgsresultaterne, herunder en sammenligning mellem de teoretiske værdier og de ved forsøgene fundne værdier, er det af stor vigtighed, at kvaliteten af de aktiviteter, der indgår i processen, er høj. Det er af stor vigtighed, at der udvises stor omhyggelighed ved alle processer i forbindelse med fremstilling af forsøgsbjælker og udførelse af bæreevnforsøg, da forsøgene i modsat fald let kan give misvisende resultater. Notér alle afvigelser fra det teoretisk ønskelige, hvis sådanne trods omhu skulle forekomme. Sådanne eventuelle notater i forbindelse med bjælkefremstillingen skal afleveres til Gert Heshe til videregivning til den laboratoriegruppe, der skal udføre bæreevnforsøg med den producerede bjælke. Det er meget vigtigt, at notaterne er forsynet med bjælkens identifikationsnummer.

Aalborg Universitet, d. 04.07.1997

Gert Heshe